



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria
de Manresa



Trabajo Final de Grado

MINA LINDA MARIQUITA ***Estudio de viabilidad de la*** ***mina para su apertura al*** ***público***

Grado en Ingeniería Minera

Autora: Tamara Fernández Millán

Directora: María Teresa Yubero de Mateo

Codirector: Lluís Sanmiquel Pera

Manresa, octubre 2018

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer en primer lugar a mi familia y amigos todo su apoyo incondicional. A mis compañeros y profesores que me han acompañado a lo largo de estos años en mi etapa académica. Y para acabar, me gustaría agradecer a María Teresa Yubero que me ha guiado durante el transcurso de la elaboración de este proyecto, sin ella hubiese sido mucho más difícil.

RESUMEN

El presente proyecto trata de la realización de un estudio geotécnico e hidrológico de la zona donde se sitúa la Mina Linda Mariquita, la cual pertenece al municipio del Molar, provincia de Tarragona.

La zona de estudio tiene antecedentes de minería desde el año 1851 que daba trabajo a la gente de la zona. Años después, coincidiendo con el inicio de la guerra civil española, las instalaciones mineras pasaron a ser un hospital militar para los combatientes heridos de ambos bandos. En la actualidad, se quiere rehabilitar la mina adecuándola para la realización de visitas turísticas y reactivar económicamente el municipio, es por ese motivo que resulta necesaria una caracterización tanto geotécnica como hidrológica de la zona donde se encuentra ubicada la mina.

En primer lugar, a partir de los ensayos de campo y de laboratorio facilitados por la empresa Geosud, se ha realizado una clasificación geomecánica del macizo rocoso donde se encuentra la mina, con la idea de identificar posibles zonas de inestabilidades y proponer sostenimientos adecuados. Además, se ha realizado un estudio de todas las familias de diaclasas, a partir del programa Dips y un pequeño estudio de la convergencia de una sección de galería a partir del programa RS2, ambos pertenecientes al software Rocscience, disponible en la Escuela Politècnica Superior d'Enginyers de Manresa.

Para el estudio hidrológico, las herramientas utilizadas son los programas de cómputo americanos de dominio público, tales como HEC RAS y HEC HMS y la aplicación del sistema de información geográfica como el ARC GIS y ARC MAP. Además, se ha calculado el hietograma (precipitación en mm de lluvia versus tiempo) mediante el método de bloques alternados. La información básica para el uso de estas herramientas es mayormente de dominio público y fueron elaboradas por instituciones públicas del gobierno de Cataluña y España.

A partir de estudio hidrológico, Los resultados de este estudio contribuirán a conocer, en una zona de la mina, donde se sabe de infiltraciones, se conocerá el valor máximo de infiltraciones pueden generarse en el interior de la galería, a partir del caudal máximo superficial en un periodo de retorno de 25 años.

El proyecto contribuirá a conocer y diagnosticar posibles zonas, donde puedan existir problemas de inestabilidad y cuantificar las filtraciones máximas de agua dentro de una de las galerías de la mina. Así mismo servirán de detalle, para identificar puntos críticos; y proponer posibles acciones, con la finalidad de garantizar la seguridad en el interior de la mina para su obertura al público.

ABSTRACT

This project deals with the realization of a geotechnical and hydrological study of the area where the Linda Mariquita Mine is located, which belongs to the municipality of Molar, province of Tarragona.

The study area has a history of mining since 1851 that gave work to the people of the area. Years later, coinciding with the beginning of the Spanish civil war, the facilities became a military hospital for fighters both sides. Currently, it is a question of rehabilitating the mine in an appropriate manner for the realization of visits of tourism and of reactivating economically the municipality, it is for this reason that it is necessary a geotechnical and hydrological characteristic of the area where the mine is located.

Firstly, based on the field and laboratory tests provided by the Geosud Company, a geomechanical classification of the rock mass has been made where the mine is located, with the idea of identifying areas of instability and proposing adequate support. In addition, a study of all the diaclasses families has been carried out, starting with the Dips program and a small study of the convergence of a section to a gallery from the RS2 program, both related to the Rocscience software, available at the Polytechnic School Superior Teachings of Manresa.

For the hydrological study, the tools used are American public domain programs, such as HEC RAS and HEC HMS and the application of the geographic information system such as ARC GIS and ARC MAP. In addition, it has been calculates the hietogram using the alternating block method. The basic information for the use of these tools is largely in the public domain and were elaborated by the government institutions of Catalonia and Spain.

From a hydrological study, the results of this study will help to know, in an area of the mine, where infiltrations are known, we will know the maximum value of infiltrations will be generated inside the gallery, from the maximum surface superficial flow in a return period of 25 years.

The project will contribute to know and diagnose the zones, where instability problems can be detected and quantify the maximum water leaks inside one of the galleries of the mine. Likewise, we will serve as detail, to identify critical points; and propose possible actions, with the purpose of guaranteeing security inside the mine for its opening to the public.

ÍNDICE

DOCUMENTO 1. MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. ANTECEDENTES.....	3
3.1. LA MINERÍA EN LA COMARCA DEL PRIORAT	3
3.1.1. Les Mines de Bellmunt del Priorat.....	3
3.2. HISTORIA DE LA MINA LINDA MARIQUITA	4
4. CONTEXTO GEOGRÁFICO.....	6
4.1. SITUACIÓN	6
4.2. ACCESOS	7
5. CONTEXTO GEOLÓGICO	8
5.1. GEOLOGÍA DE LA ZONA.....	8
5.1.1. Perfil geológico de la zona	10
5.2. GEOLOGÍA EN LA MINA.....	11
5.3. MINERALOGÍA	12
6. ESTUDIO GEOTÉCNICO	13
6.1. INTRODUCCIÓN	13
6.2. TRABAJOS DE RECONOCIMIENTO.....	14
6.3. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL SUBSUELO.....	17
6.3.1. Agresividad del suelo	20
6.4. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO	20
6.4.1. Resistencia a la compresión simple de la roca en cada tramo de galería.....	21
6.4.2. Índice RQD.....	25
6.4.3. Separación entre diaclasas	27
6.4.4. Condiciones de las discontinuidades	29
6.4.5. Flujo de aguas subterráneas.....	30

6.4.6. Orientaciones de las discontinuidades	32
6.4.7. Evaluación del índice RMR básico (RMR_b) y el RMR corregido (RMR_c)	34
6.5. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS GALERÍAS Y EL MACIZO ROCOSO...	35
6.5.1. Clasificación de las galerías	35
6.5.2. Clasificación del macizo rocoso	37
6.5.3. Riesgo geológico.....	37
6.5.4. Estimación del Índice Q.....	38
6.6. ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE LAS GALERÍAS	39
6.6.1. Estimación del sostenimiento en función del Índice RMR.....	39
6.6.2. Estimación del sostenimiento en función del Índice Q	41
6.6.3. Estimación global de estabilidad de las galerías.....	42
6.7. ESTADO ACTUAL DE LAS GALERÍAS	42
6.7.1. Estudio de discontinuidades.....	42
6.7.2. Estudio del riesgo de caída	49
6.7.3. Estudio del túnel.....	57
7. ESTUDIO DE HIDROLOGÍA	62
8. CONCLUSIONES	71
9. BIBLIOGRAFÍA	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la mina	6
Tabla 2. Resultados de los sondeos y ensayos realizados in situ.	14
Tabla 3. Resultados de los ensayos realizados en laboratorio.	15
Tabla 4. Resultados de los ensayos realizados en el subsuelo. Nivel 0.	17
Tabla 5. Resultados de los ensayos realizados en el subsuelo. Nivel 0.	17
Tabla 6. Resultados de los ensayos realizados en el subsuelo. Nivel A.	18
Tabla 7. Resultados de los ensayos realizados en el subsuelo. Nivel B.	19
Tabla 8. Resultados de los ensayos de agresividad del suelo.	20
Tabla 9. Valores de resistencia del ensayo a compresión simple.	21
Tabla 10. Resistencia de la matriz rocosa, Bieniawski	22
Tabla 11. Valoración de la matriz del macizo rocoso de la mina.	23
Tabla 12. Ensayos de Índice manual de resistencia de roca en campo (ISRM, 1981)	23
Tabla 13. Valores de RQD de cada estación geomecánica.	26
Tabla 14. RQD de Bieniawski (1989)	26
Tabla 15. Tabla de valoración del RQD	27
Tabla 16. Descripción del tamaño de bloque en función de sus discontinuidades	27
Tabla 17. Caracterización de la separación de las discontinuidades.	27
Tabla 18. Separación de diaclasas de Bieniawski (1989)	28
Tabla 19. Valoración separación de diaclasas	28
Tabla 20. Caracterización de las discontinuidades	29
Tabla 21. Estado de las discontinuidades, Bieniawski (1989).	30
Tabla 22. Valoración del estado de discontinuidades.	30
Tabla 23. Estado general del flujo de aguas subterráneas	31

Tabla 24. Agua subterránea, Bieniawski (1989).	32
Tabla 25. Valoración agua subterránea.	32
Tabla 26. Orientaciones de las discontinuidades.....	33
Tabla 27. Corrección de orientaciones de discontinuidades, Bieniawski (1989).	33
Tabla 28. Valoración de las orientaciones de las discontinuidades	34
Tabla 29. Caracterización del índice RMR (básico y corregido).	34
Tabla 30. Valor medio índice RMR (básico y corregido).....	35
Tabla 31. Calidad del macizo rocoso en relación al Índice RMR, Bieniawski (1989).....	36
Tabla 32. Clasificación general según Bieniawski.	36
Tabla 33. Clasificación general del macizo rocoso según Bieniawski	37
Tabla 34. Estimación del Índice Q de Barton	38
Tabla 35. Buzamiento y dirección de buzamiento de las capas del perfil 1	43
Tabla 36. Buzamiento y dirección de buzamiento de las capas del perfil 2.....	46
Tabla 37. Buzamiento y dirección de buzamiento de las capas del perfil 2.....	48
Tabla 38. Datos discontinuidades utilizadas en el programa Unwedge.....	51
Tabla 39. Datos discontinuidades utilizadas en el programa Unwedge.....	53
Tabla 40. . Datos discontinuidades utilizadas en el programa Unwedge.....	55
Tabla 41. Tabla con con los datos utilizados para obtener el hietograma	67

DOCUMENTO 1. MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

La Mina Linda Mariquita es una antigua explotación minera de plomo, situada en el municipio de El Molar en la comarca de El Priorat, provincia de Tarragona.

Esta pertenece a una de las veinte minas más importantes del s.XIX en la región, aunque actualmente se encuentre en desuso.

Hoy en día, muchos de los Patrimonio Minero importante desarrollan una labor para la reconversión y recuperación de sus instalaciones mineras más antiguas. Esta tendencia se debe, en parte, al interés progresivo que muestra nuestra sociedad por el turismo rural y de las rutas además del cultural. Generando cada vez más demanda dirigida hacia la recuperación de instalaciones industriales históricas.

Siendo el nuestro un país con una historia minera importante y dado ese potencial turístico nombrado con anterioridad, hace dos décadas empezaron con la rehabilitación de minas de interior en desuso.

Actualmente, podemos encontrar más de una treintena de minas de interior abiertas al público, siendo Cataluña la comunidad autónoma con más minas visitables.

En estos espacios expositivos mineros, su nuevo uso está directamente relacionado con su estado de conservación. No obstante, se pueden agrupar estos elementos en dos grandes tipologías. Por una parte, tenemos los elementos relacionados con el espacio productivo, como las instalaciones de exterior (almacenes, talleres, casas de máquinas...) que son adaptados para centros de interpretación o servicios para el turista. Y, por otra parte, los elementos relacionados con el espacio reproductivo o equipamientos siendo estos adaptados para las visitas turísticas.

Algunos nuevos equipamientos turístico-mineros incluyen la visita a una mina subterránea. Por motivos de seguridad el recorrido que el turista puede realizar en el interior esta, suele ser muy reducido, no superando habitualmente los 500 metros y tan sólo siendo visitables las primeras plantas o niveles de la mina.

En el caso de la Mina Linda Mariquita el objetivo final es acondicionar la antigua para uso turístico, tanto la mina subterránea como las instalaciones exteriores.

2. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio geotécnico e hidrológico de la zona con la finalidad de obtener un estudio de viabilidad de la Mina Linda Mariquita para su posible apertura al público.

Los objetivos específicos de este estudio son:

- Realizar un estudio geotécnico, el cual nos permita conocer las características de resistencia y estabilidad del subsuelo y proponer medidas de sostenimiento si fuese necesario. Además, se realizará una primera aproximación del valor de convergencia y consecuentemente del desplazamiento del contorno de una de las galerías de la mina, utilizando el programa de elementos finitos Rocscience disponible en la Universidad Politécnica de Manresa.
- Realizar un estudio hidrológico de la cuenca donde se encuentra situada la mina para establecer la posible existencia de filtraciones y sus repercusiones.
- Analizar los resultados obtenidos en ambos estudios y ver si es viable su posible apertura al público des de un punto de vista geotécnico e hidrológico.

3. ANTECEDENTES

3.1. La minería en la comarca del Priorat

La comarca del Priorat cuenta des de la Prehistoria y la Protohistoria con unos recursos mineros aprovechables, siendo los más importantes aquellas especies minerales que contienen cobre, plomo y plata. Aunque presentes en muchos puntos de la comarca, las concentraciones más importantes se encuentran en la parte meridional, es decir, en el Baix Priorat

La cuenca minera del Baix Priorat, localizada en los actuales municipios de Bellmunt del Priorat, El Molar y Falset, es conocida, sobre todo, por la abundancia de plomo, que fue explotado hasta los años 70. No obstante, la cuenca cuenta con recursos de cobre y de plata, aunque en cantidades menores. La galena del Priorat, históricamente ha sido muy apreciada por la pureza de su plomo. La importancia de la explotación del plomo prioratino está abundantemente documentada desde la época medieval cristina hasta el siglo XX. y muy probablemente se benefició en época andalusí y en época romana.

En la segunda mitad del s.XIX se inicia la explotación industrial, primero en el municipio de El Molar y con los años se extendió por toda la región, llegando a su punto más álgido entre finales del s. XIX. y principios del s. XX. Hubo unas veinte minas, siendo las más importantes; Mina Eugenia, Mina Regia, Mina Regia Antigua, Mina Renania, Mina Lagarto, Mina Ramona, Mina de la Cresta y Mina Joaquina Primer todas ellas situadas en el municipio de Bellmunt del Priorat. Mina Raimunda, Mina Jalapa, Mina Linda Mariquita y Mina Mineralógica, en El Molar. Y, por último, en Falset encontramos Mina Balcoli y Mina Cándida.

3.1.1. Les Mines de Bellmunt del Priorat

Como se ha dicho con anterioridad, en el municipio de Bellmunt del Priorat se encuentran algunas de las minas más importantes de la región, de las cuales Mina Eugenia, Mina Regia y Regia Antigua son las más destacadas por su mineralogía y su actividad extractiva.

En esta zona, hay un fácil acceso de observación de los minerales en las escombreras de las tres minas y en los filones encajantes. Actualmente, dichos filones, se pueden observar en el interior de la Mina Eugenia, la cual esta habilitada para poder ser visitada.

Así pues, el Museo de las Minas de Bellmunt del Priorat se sitúa en el antiguo complejo industrial de la Mina Eugenia, que estuvo en activo hasta 1972 bajo la dirección de la empresa Minas del Priorato S.A. Hoy en día, es un centro de interpretación de la minería del plomo creado en el año 2002 como culminación de un largo proceso de recuperación y conservación del patrimonio minero del municipio. Este museo se ha convertido en un eficaz instrumento de desarrollo local, tanto a nivel social como económico y cultural.

La antigua mina de plomo cuenta con cerca de 15 km de galerías, algunas de las cuales a más de 700 metros de profundidad. En la visita se desciende a una galería a 35 metros de profundidad en la que se puede ver recreaciones del trabajo que se realizaba, y a su vez, nos permite hacernos una idea de la vida en la mina. En la Figura 1 se muestra la entrada a la mina museo de Bellmunt del Priorat.



Figura 1. Foto del Museo de las Minas de Bellmunt del Priorat (Fuente: Museu de les mines de Bellmunt del Priorat, 2018).

3.2. Historia de la Mina Linda Mariquita

La mina Linda Mariquita, también conocida como Mina Lussa, es una antigua explotación minera dedicada a la extracción de plomo. Los trabajos en la mina se iniciaron hacia 1851, cuando fueron demarcadas tres concesiones; La Lola, Linda Mariquita y Antoñita, que más tarde terminarían formando una sola explotación bajo el nombre de la mina que nos ocupa.

Las tres concesiones pertenecían a la Sociedad Rheno-Nassovia de Stolberg (Alemania), quien en 1885 había instalado en Linda Mariquita la primera máquina de vapor que la minería empleó

en la provincia de Tarragona. Más tarde, las concesiones pasaron a manos de la Sociedad Minero-Metalúrgica de Portman-Bellmunt.

La crisis del plomo obligó a la empresa a paralizar sus explotaciones, cuyos trabajos no se retomarían hasta 1933. Durante la batalla del Ebro, en 1938, el edificio principal de la mina se convirtió en un hospital de campaña de urgencia.

Antes de 1970, cesó toda actividad en la mina, retirando toda la maquinaria y cerrando puertas.

En la actualidad el complejo de las instalaciones de la Mina Linda Mariquita está protegido como bien cultural de interés local. En la Figura 2 se puede observar una fotografía de las instalaciones superficiales de la Mina Linda Mariquita en la actualidad.



Figura 2. Foto de las ruinas de la Mina Linda Mariquita (Fuente: www.flickr.com, 2018)

4. CONTEXTO GEOGRÁFICO

4.1. Situación

La Mina Linda Mariquita se encuentra en el municipio de El Molar en la comarca de El Priorat, provincia de Tarragona. El municipio consta de una superficie de 22,4km² y una población de 286 habitantes (2017).

Encontramos la mina a unos 400m al noreste, a las afueras del municipio de El Molar, al lado este de la T-732. El acceso a la primera galería se encuentra entre barrancos, los cuales están orientados en dirección sur y descargan en el río Siurana, afluente del río Ebro.



Figura 3. Mapa de Cataluña donde se distingue la comarca del Priorat y el municipio del Molar (Fuente: Wikipedia).

Las coordenadas aproximadas de situación de la mina son:

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la mina (Fuente: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, 2018)

Coordenadas X	Coordenadas Y	Z
307.729	4.559.850	228

Fus 31N y Datum de referencia ERTS89

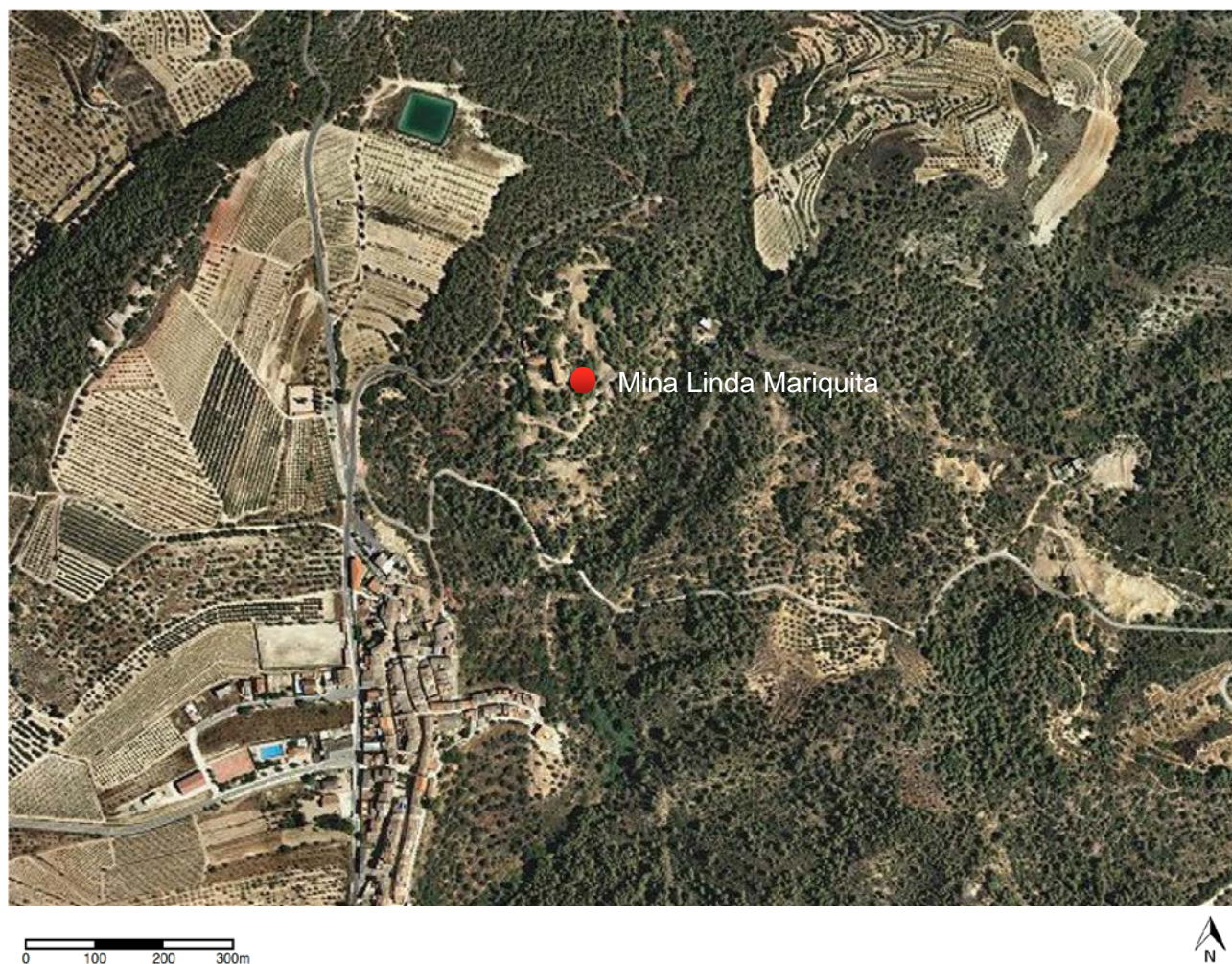


Figura 4. Mapa de situación de la zona de estudio (Fuente: Institut Cartògrafic i Geològic de Catalunya, 2018).

4.2. Accesos

Para llegar a la mina deberemos tomar, una vez llegado al municipio de El Molar, la carretera T-732 con dirección a El Lloar. A tan solo unos 40 metros del cruce con la carretera que conduce a Figuera aparece un camino hacia la derecha, de tan solo unos 160 metros de recorrido, que nos conducirá directamente a la mina, (ver Documento 3, Planos).

5. CONTEXTO GEOLÓGICO

5.1. Geología de la zona

La comarca del Priorat está situada en la cordillera Prelitoral catalana actuando de bisagra entre el Ebro, las tierras llanas de la costa tarraconense y el extremo meridional de la provincia de Lleida. La unidad morfoestructural de los Catalánides (cordilleras Prelitoral y Litoral), corresponde al Paleozoico y Mesozoico. El zócalo paleozoico corresponde al Carbonífero, con una intrusión granítica generadora de una pequeña aureola metamórfica de contacto que queda al descubierto por la erosión de la cobertura mesozoica. Los filones minerales de la comarca se ubican en ese zócalo paleozoico (Rafel *et al.*, 2008 y 2010; Montero *et al.*, 2010).

En la cuenca minera de Molar-Bellmunt-Falset, que constituye un sector de relieve menos accidentado que el resto de la comarca, justo se encuentra en el marco de las cordilleras costeras catalanas, donde localizamos depósitos de tipo filoniano polimetálico, asociados con intrusiones graníticas y metasedimentos.

Los filones son generalmente de Cu-Pb-Zn que son los metales predominantes, principalmente en materiales del Paleozoico (Navarro *et al.*, 2016). Los filones se originaron por la circulación de fluidos hidrotermales a través de las fracturas. Estos fluidos eran aguas meteóricas, marinas o de formación, a una temperatura de unos 150 °C. Se enriquecían en sulfuros y metales al circular en profundidad por los cuerpos ígneos y sedimentarios paleozoicos, precipitando los minerales siguiendo la secuencia, al producirse una bajada de pH y Ta. En El Molar se encuentran filones de Pb-Zn prehercínicos (Ayora *et al.*, 1990).

El zócalo paleozoico del Carbonífero ocupa buena parte de la cuenca Molar-Bellmunt-Falset, la cobertura mesozoica se circunscribe a un área de la parte sudoriental del municipio del Molar y la sudoccidental del de Bellmunt. El Precarbonífero se ubica al sur del Molar y zona norte y centro-occidental de Falset, donde se localiza además una gran área de rocas graníticas. La cuenca minera está limitada por fallas alpinas, orientadas aproximadamente NE-SW (fallas del Molar, Falset y Marçà). En la zona noroeste de la cuenca, cerca del Molar, los pórfidos afloran masivamente con una alineación E-W y buzamiento hacia el N. Más hacia el E (minas Regia y Regia Antigua) los pórfidos son menos masivos y con intercalaciones de pizarras con alineación NE-SE y buzamiento hacia el NW. La zona de las minas Eugenia y Regina, en Bellmunt del Priorat, se caracterizan por tener los diques porfídicos muy adelgazados y casi estériles, siendo

con frecuencia pizarras las rocas encajantes de los filones (IGME, 1974: Tortosa) (ver Figura 4). La cuenca se encaja en materiales de los ciclos precámbrico y herciniano. Los tipos de depósitos identificados y explotados en las minas son mineralizaciones filonianas de galena y de plata y mineralizaciones estratiformes sedimentarias de Pb-Zn. Sin embargo, se asocian frecuentemente a ellas mineralizaciones de cobre, explotadas en época protohistórica, destacan las minas Linda Mariquita, Jalapa (ambas en el Molar) y Barranc Fondo (Bellmunt del Priorat), caracterizadas por filones brechoides encajados en pórfidos (Rafel, Montero, Soriano, Hunt y Armada *et al.*, 2014).

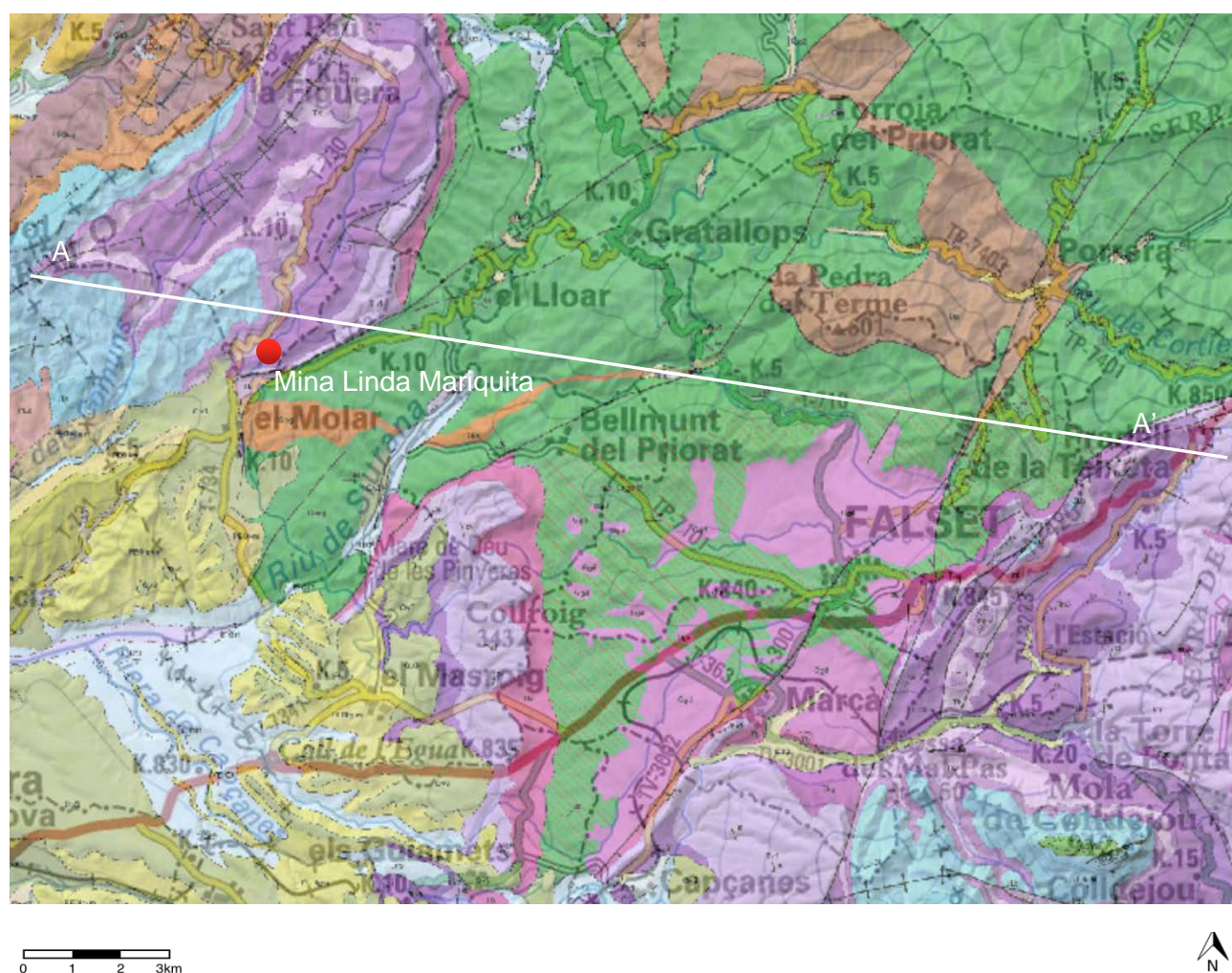


Figura 5. Mapa de geològic general de la zona de estudi, (Fuente: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, 2018).

5.1.1. Perfil geológico de la zona

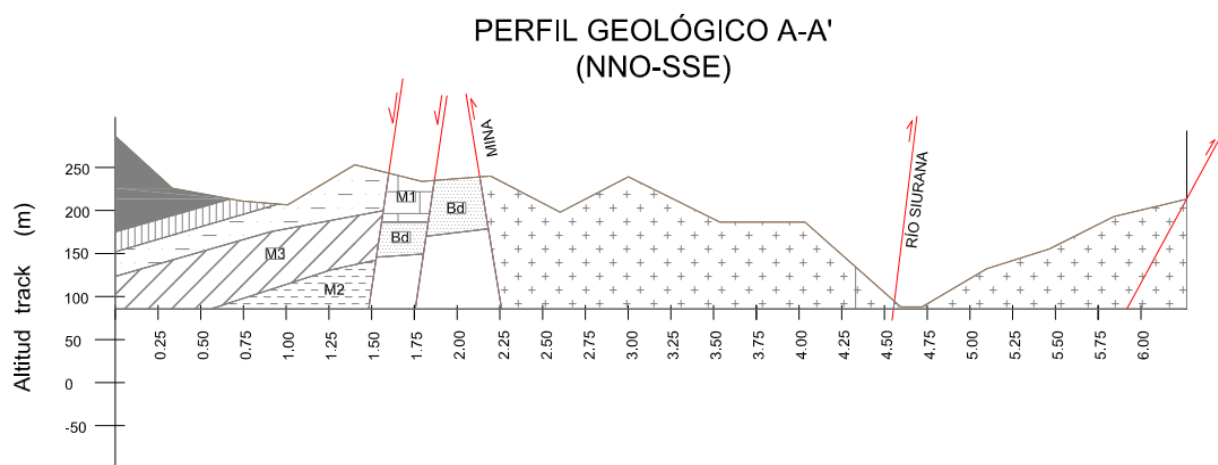


Figura 6. Croquis del perfil geológico de la zona de estudio.

5.2. Geología en la mina

Los datos geológicos de la zona de estudio nos indican que justo donde está situada la mina Linda Mariquita está afectada por una falla regional que pone en contacto materiales paleozoicos, Capg, (pizarras, areniscas y líticas del Carbonífero) junto con Gpg (granitos y granotoides) y mesozoicos, Tk, (arcillas, areniscas y calcárea del Triásico) (Figura 5).

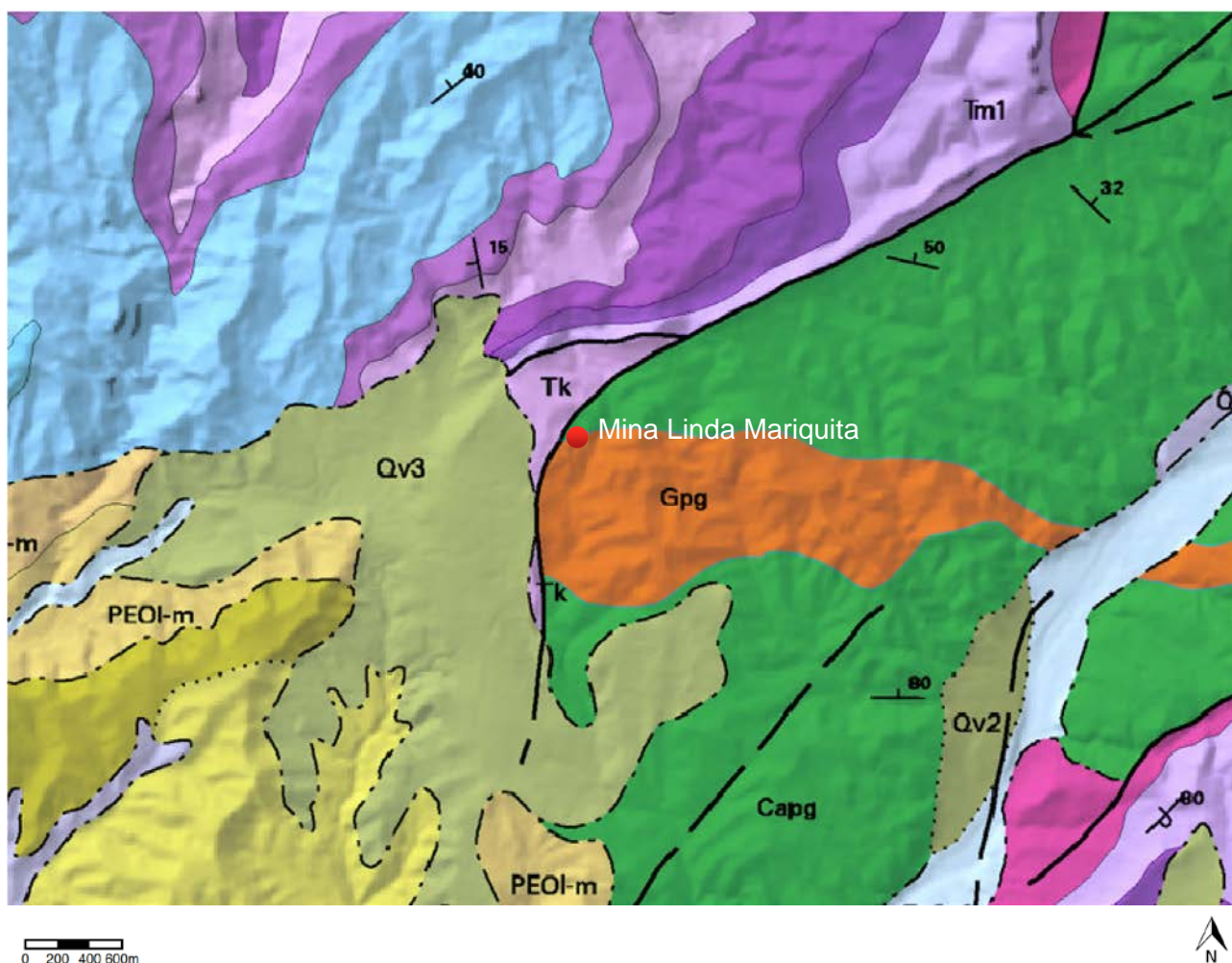


Figura 7. Mapa de geológico de la zona de la mina, (Fuente: Institut Cartògrafic i Geològic de Catalunya, 2018).

Por tanto, las galerías de la Mina Linda Mariquita en profundidad se encuentran en un macizo rocoso formado por materiales paleozoicos en forma de pizarras con pórfidos riolíticos y granodioríticos ricos en mineralización en forma de sulfuros y otros.

Las pizarras presentan una serie de familias de discontinuidades con buzamiento hacia el norte y diaclasas con el buzamiento hacia el noreste y sudoeste. Y los pórfidos que cortan las pizarras tienen una dirección hacia el noreste

En relación a la geología de la mina en superficie, los materiales geológicos del interior de las galerías están formados básicamente por areniscas y de pórfidos granodioríticos con tramos de pizarras con un elevado grado de metamorfismo. Este nivel, será la parte visitable de la mina y el material de arenisca será el material que estudiemos a nivel geotécnico en este proyecto.

5.3. Mineralogía

En la mina encontramos galena con un bajo contenido en plata, esto nos indica que su aprovechamiento hasta la época moderna sólo pudo estar dedicado al plomo. En cuanto al cobre, podemos señalar que aparece con cierta abundancia en un filón de tenantita. Este mineral pertenece al grupo de las sulfosales (Cu,Ag,Fe,Zn), también denominado cobre gris, el cual se caracteriza por la presencia de arsénico y en determinadas variedades incorpora plata, zinc o hierro. Con menor frecuencia que la tenantita, se han identificado minerales carbonatados (azurita y malaquita), arseniatos (olivenita) y sulfuros (calcosina), (Rafel, *et.al.*2014).

6. ESTUDIO GEOTÉCNICO

6.1. Introducción

Las diferentes discontinuidades existentes en el macizo rocoso provocan la aparición de zonas favorables a posibles inestabilidades del techo y en las paredes laterales de la excavación. En nuestro caso, debido a que la mina será visitable únicamente el primer nivel en profundidad, aproximadamente. Haremos una caracterización geotécnica de únicamente estos primeros 6 metros de profundidad.

Con tal de poder estudiar el grado de estabilidad de las galerías de esta primera planta, la cual presenta una longitud de 485 en dirección sur-oeste hacia el norte-este (donde se sitúa la entrada principal) y de sur a norte, y como paso previo a una posible intervención se deberá analizar el estado actual de las galerías para evaluar los posibles procesos inestables existentes y definir los trabajos de estabilización.

En este apartado dedicado al estudio geotécnico de la Mina Linda Mariquita, primeramente, definiremos las diferentes estaciones geomecánicas donde se han realizado las medidas de campo para después realizar una clasificación geomecánica del macizo rocoso utilizando el método de Bieniawski (evaluación del índice de RMR).

Una vez obtenida su clasificación geomecánica, en relación a sus resultados, se propondrán recomendaciones de sostenimientos mediante la clasificación de Barton (índice Q).

Una vez obtenida su clasificación geomecánica, en relación a sus resultados, se propondrán recomendaciones de sostenimientos mediante la clasificación de Barton.

Seguidamente, realizaremos un estudio de discontinuidades existentes en la galería, para observar posibles caídas de bloques en el techo o hastiales de las galerías.

Y finalmente, mediante el cálculo de una sección de la galería, obtendremos las distribuciones de tensiones.

6.2. Trabajos de reconocimiento

A través de la empresa GEOSUD, se realizaron una serie de trabajos de campo y ensayos de laboratorio en la zona de la Mina Linda Mariquita, los cuales serán utilizados para realizar el estudio geotécnico de la mina.

Primero, realizaron unos sondeos y en ensayos in situ, donde el tipo de maquinaria utilizada para estos fueron los penetrómetros. Este tipo de ensayo consisten en la hincada de una puntaza metálica en el terreno mediante golpes repetitivos (a percusión) permitiendo determinar la resistencia del terreno. Se realizaron con una sonda rotativa tipo TP30-LR (Tecoinsa), donde el testimonio continuo se obtiene a través de sondeo a rotación con tomamuestras de batería simple y doble de 1,70 metros y 86 mm de diámetro.

Los ensayos DPSH, cuenta el número de golpes necesarios para hincar un puntaza, normalizada de 20cm², mediante un impacto de una masa de 65kg desde una altura de 76.5 cm, en el suelo.

Los resultados de los ensayos DSPH, se presenta en la tabla:

Tabla 2. Resultados de los sondeos y ensayos realizados in situ (Fuente: GEOSUD,2017).

Ensayos	Nº de ensayos	Profundidad (m)
DPSH	2	3.4 (rechazo) a 7.0
Sondeos	4	3.0 a 9.0
SPT	7	1.2 (2) 2.4 (1) 3.0 (1) 5.0 (1) 7.0 (1) 8.4 (1)

Tabla 3. Resultados de los ensayos realizados en laboratorio (Fuente: GEOSUD,2017).

Ensayos	Norma	Nº de ensayos
Granulometría por tamizado	UNE 103101/95	4
Límites de Atterberg	UNE 103103/94 UNE 103104/94	4
Sulfatos solubles	UNE 103202/95	2

Se puede consultar con más detalles, la situación y columna estratigráfica de los sondeos y los resultados de los diferentes ensayos granulométricos, límites de Atterberg y el contenido de sulfatos solubles en los anejos siguientes: **Anejo 1, Anejo 2, Anejo 3 y Anejo 4.**

Una vez realizados todos los ensayos y sondeos, procedieron a ubicar y analizar en campo las diferentes estaciones geomecánicas para así poder analizar la totalidad de las galerías de la mina.

Por cada estación geomecánica se analizan las variables siguientes:

- Análisis a compresión simple del techo y de las paredes laterales.
- Caracterización del estado de discontinuidades.
- Análisis de las filtraciones existentes.

Se han definido un total de 20 estaciones geomecánicas con una distancia media de unos 20 metros a excepción del tramo inicial donde la existencia de sostenimientos no permite analizarlo correctamente.

En el croquis siguiente (Figura 8) se representa la relación de las diferentes estaciones geomecánicas numeradas en color rosa, las zonas donde se encuentran pequeños desprendimientos de terreno y material de arrastre sedimentado. Además, se marca la zona de las galerías donde se ha observado más humedad. Será en esa zona donde se realizará el estudio de hidrología posteriormente.

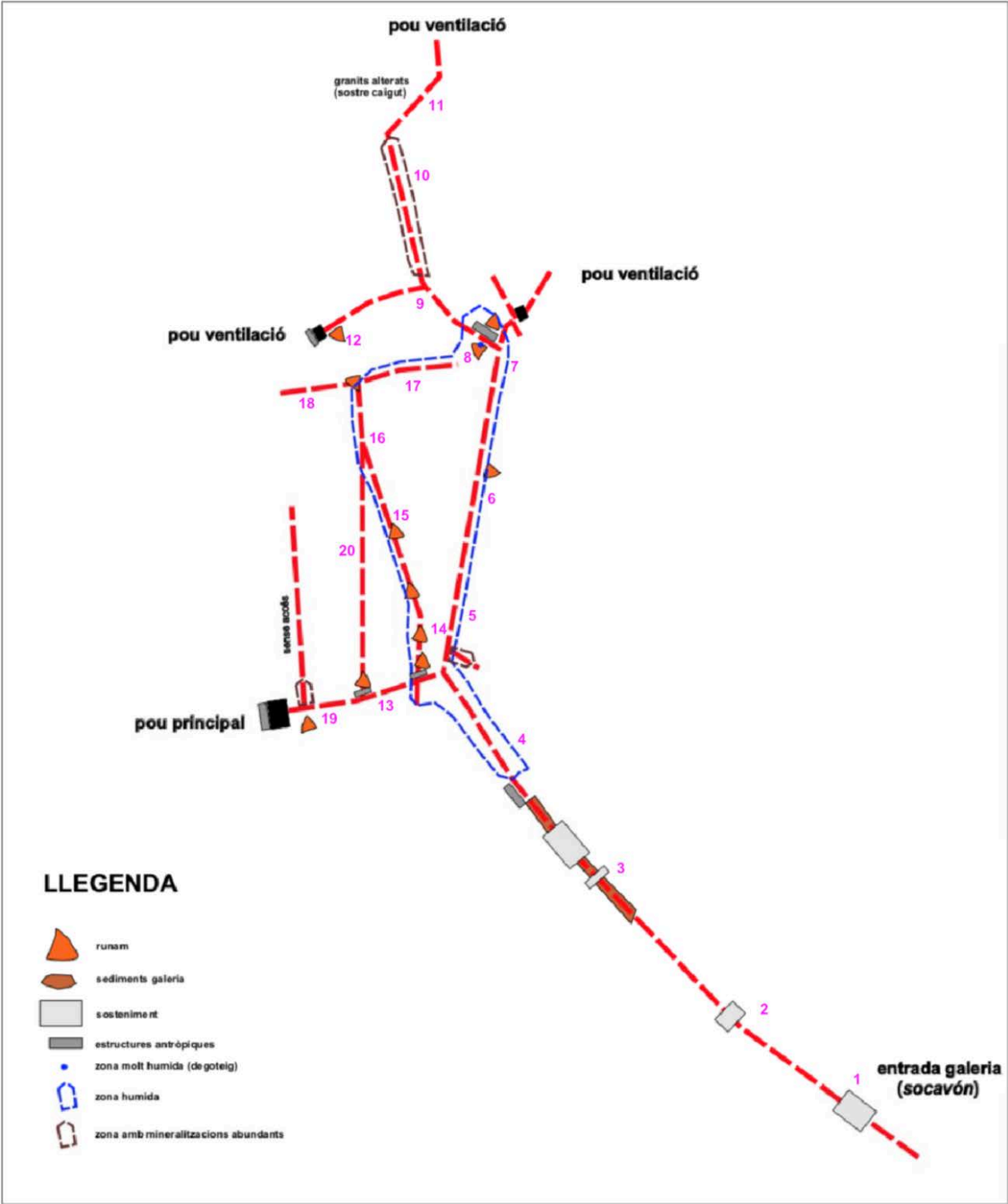


Figura 8. Croquis de las estaciones geomecánicas (Fuente: GEOSUD, 2107).

6.3. Clasificación geomecánica del subsuelo

A partir de la información obtenida con los ensayos podemos decir que existen 3 niveles geotécnicos diferentes en el subsuelo de la zona de estudio.

NIVEL 0

Abarca desde la superficie hasta una profundidad de unos 0.2 a 0.4 metros en la zona oeste (sondeos S-2, S-4 y DPSH-2) y unos -4.0 a >7.0m en el resto que corresponden a un nivel de relleno granular, con las siguientes características (Tabla 4):

Tabla 4. Resultados de los ensayos realizados en el subsuelo. Nivel 0. (Fuente: GEOSUD,2017).

Zona analizada	Tipo de relleno
Zona oeste (S-2, S-4 y DPSH-2)	Limos arenosos con grava
Zona est (S-1, S-3 y DPSH-1)	Gravas y bloques heterogéneos con techo medianamente compactado

Las características geotécnicas más importantes del nivel 0 son los que se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5. Resultados de los ensayos realizados en el subsuelo. Nivel 0. (Fuente: GEOSUD,2017).

Capacidad máxima admisible (kg/cm ²)	0.35 a >4.1
Valor N _{SPT}	2 a 9
Consistencia	Muy floja a floja
Cohesión no drenada (kg/cm ²)	Nula
Ángulo de fregamiento est. (°)	36 a 40
Módulo edométrico (kg/cm ²)	48 a 77
Peso específico (T/m ³)	1.7 a 2.1
Peso específico saturado (T/m ³)	1.9 a 2.4
Permeabilidad est. (m/s)	0.1 a 1

La variabilidad de las características geotécnicas que encontramos en este nivel es debido a los diferentes grados de consistencia de los materiales.

Des de el punto de vista geotécnico estos materiales caracterizan por presentar un elevado grado de deformación debido a la abundante existencia de poros.

NIVEL A

Este nivel se encuentra debajo del nivel 0 y hasta la máxima profundidad investigada en la zona de los sondeos S-1 y S-3. Esta formado por un macizo rocoso de granito medianamente alterado en forma de arenas y arenisca de coloraciones ocre y marrones con trazas de matriz arcillosa.

Este nivel se identifica con el substrato paleozoico de la zona y el cual presenta, en esta zona, una potencia superior a los 50m. En la Tabla 6 se pueden observar las características del nivel A del subsuelo.

Tabla 6. Resultados de los ensayos realizados en el subsuelo. Nivel A. (Fuente: GEOSUD,2017).

Capacidad máxima admisible (kg/cm²)	2.1 a >5.0
Valor N_{SPT}	33 a rechazo
Consistencia	Densa a muy densa
Cohesión no drenada (kg/cm²)	Nula a 0.05
Ángulo de fricción est. (°)	38 a 42
Módulo edométrico (kg/cm²)	>250
Clasificación USCS	SW-SM
Límite líquido (arcillas)	Nulo
Índice de plasticidad (arcillas)	No plástico
Peso específico (T/m³)	2.35 a 2.4
Peso específico saturado (T/m³)	2.4 a 2.5
Permeabilidad est. (m/s)	10 ⁻² a 10 ⁻⁵

En el **Anejo 5** encontraremos la tabla de la clasificación USCS.

La variabilidad de las características geotécnicas que encontramos en este nivel es debido a los diferentes grados de consistencia de los materiales.

NIVEL B

Este nivel se encuentra debajo del nivel 0 y hasta la máxima profundidad investigada en la zona de los sondeos S-2, S-4 y DPSH-2. Está formado por un macizo rocoso de areniscas amarillentas con niveles de arcillas rojizas medianamente cimentadas.

Este nivel se identifica con el substrato triásico de la zona y el cual presenta, en esta zona, una potencia superior a los 15m, tal como se puede observar en los taludes de la zona suroeste.

Tabla 7. Resultados de los ensayos realizados en el subsuelo. Nivel B. (Fuente: GEOSUD,2017).

Capacidad máxima admisible (kg/cm²)	2.8 a >5.0
Valor N_{SPT}	32 a rechazo
Consistencia	Dura a dura blanda
Cohesión no drenada (kg/cm²)	1.0 a >1.5
Ángulo de fricción est. (°)	26 a 34
Módulo edométrico (kg/cm²)	>425
Clasificación USCS	CL-SC
Límite líquido (arcillas)	33.3 a 43.5
Índice de plasticidad (arcillas)	8.7 a 19.7
Peso específico (T/m³)	2.3 a 2.4
Peso específico saturado (T/m³)	2.4 a 2.5
Permeabilidad est. (m/s)	10 ⁻⁷ a 10 ⁻⁹

En el **Anejo 5** encontraremos la clasificación USCS.

La variabilidad de las características geotécnicas que encontramos en este nivel es debido a los diferentes grados de consistencia de los materiales.

En este nivel hablamos de arcillas medianamente plásticas.

Los niveles A y B se identifican con el substrato triásico y paleozoico de la zona, el cual presenta una potencia superior a 25m y a unos 25-35m por debajo de la cota de la zona analizada.

6.3.1. Agresividad del suelo

Para conocer la posible agresividad del terreno, se calcula el contenido en sulfatos existentes, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 8. Resultados de los ensayos de agresividad del suelo. (Fuente: GEOSUD,2017).

Nivel analizado	Contenido en sulfatos solubles
A	350 mg/kg
B	<200 mg/kg

6.4. Clasificación geomecánicas del macizo rocoso

En una excavación minera o galerías se puede producir una rotura, un deslizamiento o una caída de bloque rocoso en su techo o en sus paredes laterales a causa de las fuerzas que actúan y que pueden ser debidas a diferentes causas, como: la gravedad (peso propio), las condiciones de saturación (filtraciones de agua) y los terremotos (aceleraciones inducidas).

Estas fuerzas no siempre desencadenan el movimiento, dado que la masa rocosa debe superar las fuerzas de resistencia existentes y que impiden el deslizamiento o caída de bloque, tales como, la cohesión, rozamiento, etc.

Para cualquier discontinuidad existe un ángulo crítico de la pendiente a partir de la cual se inicia el movimiento, denominado ángulo de rozamiento. Por tanto, se puede determinar este valor y a su vez se podrán determinar los planos que son estables y los que son inestables.

Una vez dicho esto, para realizar la clasificación geomecánica del macizo rocoso emplearemos una evaluación del índice RMR por el método de Bieniawski (1989), con el cual determinaremos la calidad del macizo rocoso, la estabilidad global y su valor. Para ello, analizaremos las siguientes variables de cada tipo de discontinuidad:

- Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.
- Índice de RQD (densidad de discontinuidades)
- Separación entre diaclasas.
- Estado de las discontinuidades.
- Flujo de aguas subterráneas.

Para valorar las anteriores variables en cada tipo de discontinuidad seguiremos la tabla de evaluación de Bieniawski (1989), que encontraremos en el **Anejo 6**.

6.4.1. Resistencia a la compresión simple de la roca en cada tramo de galería

El comportamiento mecánico de las rocas viene definido por su resistencia y su deformabilidad. Entendiendo como resistencia el esfuerzo que soporta la roca para determinadas deformaciones. En el caso donde se mide la resistencia en probetas, la roca a evaluar no tiene confinamiento, por tanto, se denomina resistencia a compresión simple y su valor se emplea para la clasificación geotécnica de las rocas.

Para medir la resistencia simple de nuestra roca, se ha utilizado un esclerómetro tipo martillo Schmidt, este ensayo consiste en una pesa tensada con un muelle que es lanzada desde una altura determinada contra la roca que queremos valor y así medir la resistencia al rebote de la superficie de dicha roca. La medida obtenida del rebote se correlaciona con la resistencia a compresión simple del material rocoso.

Una vez realizado el ensayo estos son los resultados obtenidos mostrados en la Tabla 9:

Tabla 9. Valores de resistencia del ensayo a compresión simple (Fuente: GEOSUD, 2017)

Estación	σ_c techo (kg/cm ²)	σ_c pared lateral (kg/cm ²)	σ_c mínima (kg/cm ²)
1	270	400	270
2	500	750	500
3	500	750	500
4	270	500	270

Estación	σ_c techo (kg/cm ²)	σ_c pared lateral (kg/cm ²)	σ_c mínima (kg/cm ²)
5	270	480	270
6	270	600	270
7	270	600	270
8	270	500	270
9	s.d. ¹	600	600
10	s.d. ¹	980	980
11	150	230	150
12	s.d. ¹	350	350
13	500	750	500
14	s.d. ¹	350	350
15	s.d. ¹	325	325
16	s.d. ¹	300	300
17	s.d. ¹	300	300
18	s.d. ¹	325	325
19	270	500	270
20	s.d. ¹	350	350

¹ s.d.: tramos sin determinar ya que constan de una altura elevada (>3m) y no se ha podido realizar el ensayo in situ.

El rango de valor en techo oscila entre 150 a 500 kg/cm² y para las paredes laterales oscila entre 230 a 980 kg/cm². Obteniendo un valor medio en techo de 320 kg/cm² y 497 kg/cm² en las paredes laterales. El valor medio mínimo es de 317 kg/cm².

En el **Anejo 7** se puede observar cómo se realizaron los ensayos in situ de compresión simple en el techo y en las paredes laterales del interior de las galerías.

Como ya se ha comentado anteriormente, para realizar la valoración de las variables utilizaremos el método de Bieniawski (1989). La tabla siguiente será la utilizada para hacer la valoración a la resistencia a compresión simple del macizo rocoso.

Tabla 10. Resistencia de la matriz rocosa, Bieniawski

Parámetro: Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)							
Ensayos de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (Mpa)		
Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	1<
Puntuación	15	12	7	4	2	1	0

Tabla 11. Valoración de la matriz del macizo rocoso de la mina.

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Valoración	2	7	7	2	2	2	2	2	7	7	2	4	7	4	4	4	4	4	2	4

También podemos clasificar la roca en base a la resistencia de la roca según la clasificación del ISRM (1981), utilizando la tabla que vemos a continuación.

Tabla 12. Ensayos de Índice manual de resistencia de roca en campo (ISRM, 1981)

Clase	Descripción	Identificación del campo	Valor aproximado de la resistencia a compresión simple	
			Mpa	Kg/cm ²
S ₁	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0.025	< 0.25
S ₂	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0.025 - 0.05	0.25 – 0.5
S ₃	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para penetrar el dedo	0.05 – 0.1	0.5 - 1
S ₄	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo	0.1 – 0.25	1 – 2.5
S ₅	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña	0.25 – 0.5	2.5 – 5.0
S ₆	Arcilla dura	Se marca con dificultad al marcar con la uña	> 0.5	> 5.0
R ₀	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña	0.25 – 1.0	2.5 - 10
R ₁	Roca muy blanda	Deleznable bajo golpes del martillo de geólogo, puede rayarse con una navaja. Se talla fácilmente con una navaja	1.0-5.0	10-50
R ₂	Roca blanda	Puede rayarse con dificultad con la navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente con la punta del martillo	5.0-25	50-250
R ₃	Roca moderadamente dura	No se puede rayar con una navaja la muestra en mano, se puede romper con un golpe firme del martillo de geólogo, al impacto la punta del martillo indenta hasta 5 mm.	25-50	250-500

Clase	Descripción	Identificación del campo	Valor aproximado de la resistencia a compresión simple	
			Mpa	Kg/cm ²
R4	Roca dura	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra, especímenes sostenidos en la mano se rompe con un simple golpe de martillo	50-100	500-1000
R5	Roca muy dura	Se necesita muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.	100-250	1000-2500
R6	Roca extremadamente dura	El martillo produce solamente descarrillado de la muestra, sonido metálico de golpe. Solo saltan esquirlas de roca.	> 250	> 2500

Así pues, podemos decir que la roca que encontramos en el interior de la mina sería una roca medianamente dura (250 a 500 kg/cm²) a dura (500 a 1000 kg/cm²) con algún tramo blanco (50 a 250 kg/cm²).

Una vez hemos obtenido las valoraciones del primer parámetro (resistencia a compresión simple) de la clasificación de Bieniawski y la clasificación de la roca en base a la resistencia de la roca según la clasificación del ISRM (1981), pasamos a utilizar el criterio de Hoek-Brown aplicado a las tensiones mayor y menor obtenidas en el campo mediante el esclerómetro tipo martillo Schmidt. Para ello, se ha utilizado el programa RocData (Rocscience®), diseñado para analizar los datos de la resistencia de la roca y suelo además de la determinación de envolventes de resistencia y otros parámetros físicos mediante el criterio de rotura generalizado de Hoek-Brown.

A partir de las tensiones medidas en el campo y de las características de la roca que encontramos en las galerías de la mina, se ha simulado un ensayo triaxial obteniendo los parámetros de la envolvente de rotura de Hoek-Brown que más se ajusta a los datos de campo (parámetros m, s y el módulo elástico) que nos servirá de datos iniciales, para una primera aproximación, en la estimación de la convergencia de una de las galerías de la mina, con el programa RS2 (Rocscience®).

En la Figura 9, se muestran los resultados de la simulación del ensayo triaxial para el material que atraviesa la mina.

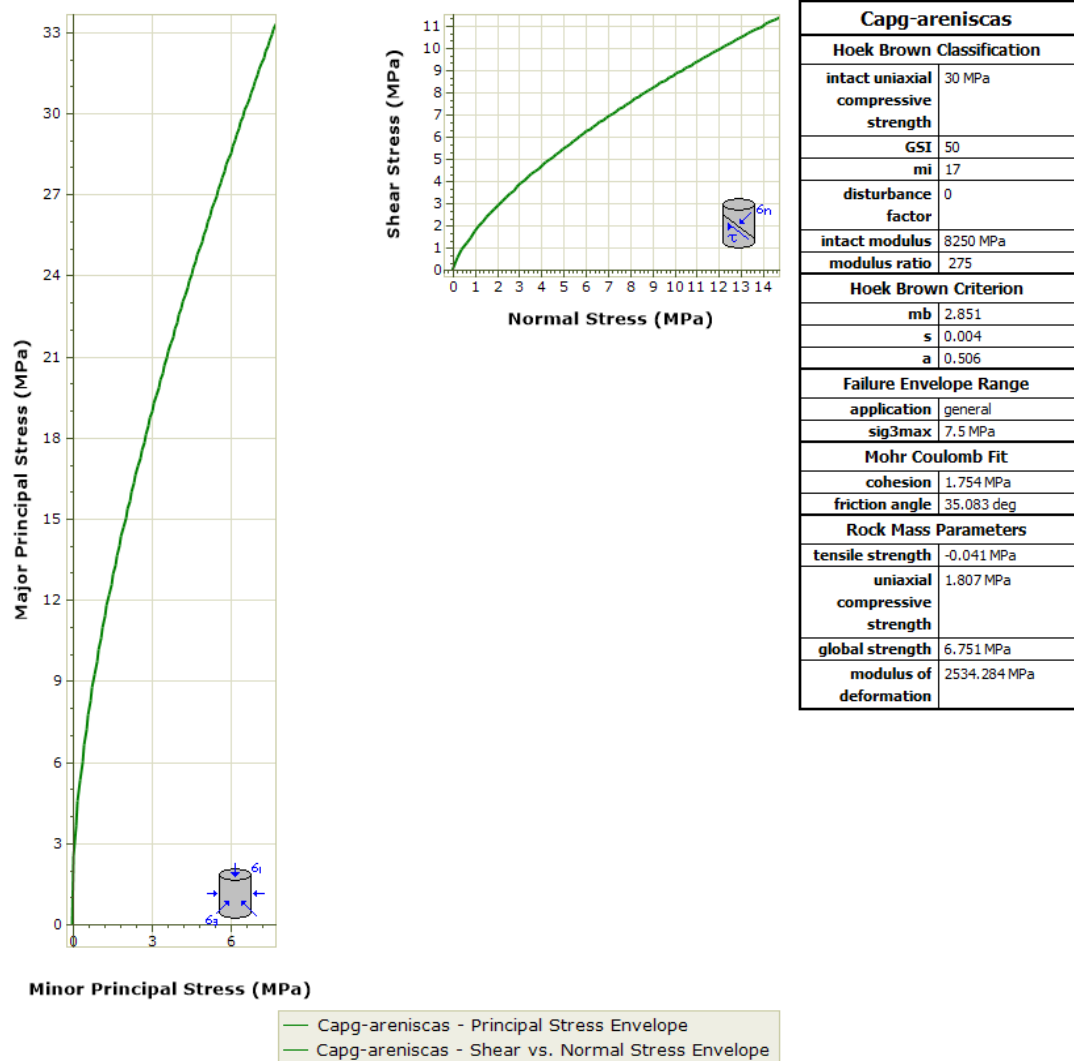


Figura 9. Gráficas obtenidas con RocData. Resistencia a la compresión simple de la roca del macizo rocoso.

6.4.2. Índice RQD

Este índice se ha evaluado a partir del número de juntas y por cada m^3 de afloramiento, teniendo en cuenta la siguiente relación:

$\text{RQD} = 115 - 3,3J_v$ per a $J_v > 4,5$ (Palmstrom, 1975 y ISRM 1981), donde J_v es el número de discontinuidades existentes por cada m^3 de afloramiento analizado.

Los valores del Índice RQD para cada estación son los siguientes:

Tabla 13. Valores de RQD de cada estación geomecánica (Fuente: GEOSUD, 2017).

Estación	J _v (discontinuidad)	RQD (%)
1	8	88,6
2	10	82
3	11	78,7
4	14	68,8
5	15	65,5
6	16	62,2
7	14	68,8
8	16	62,2
9	8	88,6
10	6	95,2
11	8	88,6
12	12	75,4
13	14	68,8
14	12	75,4
15	14	68,8
16	13	72,1
17	12	75,4
18	12	75,4
19	12	75,4
20	13	72,1

El rango de valores oscila entre 62,2% y 88,6% con un valor medio de 75,4%.

En el **Anejo 8** podemos observar ejemplos de discontinuidades dentro de la mina.

Para realizar la valoración de las variables utilizaremos el método de Bieniawski (1989). La tabla siguiente será la utilizada para hacer la valoración del parámetro RQD.

Tabla 14. RQD de Bieniawski (1989)

Parámetro: RQD					
RQD	90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%
Puntuación	20	17	13	6	3

Tomando como referencia para la evaluación la tabla anterior, estos son los resultados:

Tabla 15. Tabla de valoración del RQD

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Valoración	17	17	17	13	13	13	13	13	17	20	17	17	13	17	13	13	15	15	15	13

También podemos clasificar la roca en base a la resistencia de la roca según la clasificación del ISRM (1981), utilizando la tabla que vemos a continuación.

Tabla 16. Descripción del tamaño de bloque en función de sus discontinuidades, ISRM (1981).

Descripción	J _v (discontinuidad)
Bloques muy grandes	<1
Bloques grandes	1-3
Bloques de tamaño mediano	3-10
Bloques pequeños	10-30
Bloques muy pequeños	>30

Por tanto, consideramos que con esta distribución de discontinuidades el tamaño de bloques será de pequeño a mediano.

6.4.3. Separación entre diaclasas

En separación de cada familia de discontinuidades se evalúa mediante el análisis in situ en cada estación geomecánica, obteniendo así los valores que se muestran en la Tabla 17:

Tabla 17. Caracterización de la separación de las discontinuidades (GEOSEUD, 2017).

Estación	Espaciado (m)
1	0.02 a 0.30
2	0.02 a 0.30
3	0.02 a 0.30
4	0.02 a 0.30
5	0.02 a 0.15
6	0.02 a 0.20
7	0.02 a 0.15

Estación	Espaciado (m)
8	0.02 a 0.30
9	0.02 a 0.60
10	0.02 a 0.60
11	0.02 a 0.60
12	0.02 a 0.30
13	0.02 a 0.40
14	0.05 a 0.30
15	0.05 a 0.40
16	0.02 a 0.40
17	0.02 a 0.30
18	0.02 a 0.60
19	0.02 a 0.40
20	0.02 a 0.60

A lo largo de todas las galerías se observa una continuidad constante de las diferentes familias de discontinuidades con un espaciado medio de 0.02 a 0.4m.

Para realizar la valoración de las variables utilizaremos el método de Bieniawski (1989). La tabla siguiente será la utilizada para hacer la valoración del parámetro separación de diaclasas.

Tabla 18. Separación de diaclasas de Bieniawski (1989)

Parámetro: Separación de diaclasas					
Separación entre diaclasas	>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m
Puntuación	20	15	10	8	5

Tomando como referencia para la evaluación la tabla anterior, estos son los resultados:

Tabla 19. Valoración separación de diaclasas

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Valoración	8	8	8	8	7	7	7	8	10	10	10	2	8	8	8	8	8	7	8	7

6.4.4. Condiciones de las discontinuidades

Las condiciones de las discontinuidades existentes en cada estación geomecánica se evalúan mediante un análisis in situ donde obtenemos las variables siguientes:

- Longitud de las discontinuidades (m)
- Obertura (e) de cada discontinuidad (mm) y la dureza del recubrimiento en caso de su existencia.
- Rugosidad de las superficies de contactos.

El análisis de cada tipo de discontinuidad es el siguiente:

Tabla 20. Caracterización de las discontinuidades (GEOSUD, 2017)

Estación	Longitud (m)	e (mm)/Dureza	Rugosidad
1	>1	1 a 5 /duro	mediana
2	>1	1 a 5 /duro	mediana
3	>1	1 a 5 /duro	mediana
4	>1	1 a 5 /duro	mediana
5	>1	1 a 5 /duro	mediana
6	>1	1 a 5 /duro	mediana
7	>1	1 a 5 /duro	mediana
8	>1	1 a 5 /duro	mediana
9	>1	1 a 5 /duro	mediana
10	>1	1 a 5 /duro	mediana
11	>1	1 a 5 /blando	mediana
12	>1	1 a 5 /duro	mediana
13	>1	1 a 5 /duro	mediana
14	>1	1 a 5 /duro	mediana
15	>1	1 a 5 /duro	mediana
16	>1	1 a 5 /duro	mediana
17	>1	1 a 5 /duro	mediana
18	>1	1 a 5 /duro	mediana
19	>1	1 a 5 /duro	mediana
20	>1	1 a 5 /duro	mediana

Se observa una longitud >1m (continuidad constante) de las diferentes familias de discontinuidades con una abertura de 1 a 5 mm, con recubrimientos duros (a excepción de la estación 11) y una rugosidad mediana, a lo largo de todas las galerías. Hay que tener en cuenta que los resultados de este ensayo son subjetivos.

Para realizar la valoración de las variables utilizaremos el método de Bieniawski (1989). La tabla siguiente será la utilizada para hacer la valoración del parámetro del estado de discontinuidades.

Tabla 21. Estado de las discontinuidades, Bieniawski (1989).

Parámetro: Estado de las discontinuidades					
Longitud discontinuidades	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Puntuación	6	4	2	1	0
Abertura	Nada	<0.01mm	0.1-1mm	1-5mm	>5mm
Puntuación	6	5	3	1	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
Puntuación	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
Puntuación	6	4	2	2	0
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
Puntuación	6	5	3	1	0

Tomando como referencia para la evaluación la tabla anterior, estos son los resultados:

Tabla 22. Valoración del estado de discontinuidades.

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Valoración	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	12	15	15	15	15	15	15	15	15	15

6.4.5. Flujo de aguas subterráneas

Para cada una de las estaciones geomecánicas se ha analizado el estado general de las filtraciones existentes con los siguientes grados:

- Seco
- Ligeramente húmedo
- Húmedo
- Goteando
- Flujo continuo

El análisis de las filtraciones por estación es el siguiente:

Tabla 23. Estado general del flujo de aguas subterráneas (Fuente: GEOSUD,2017)

Estación	Estado
1	Seco
2	Seco
3	Seco
4	Húmedo
5	Húmedo
6	Húmedo
7	Húmedo
8	Gotas
9	Seco
10	Seco
11	Seco
12	Seco
13	Húmedo
14	Húmedo
15	Húmedo
16	Húmedo
17	Húmedo con gotas
18	Seco
19	Seco
20	Húmedo

Con los datos de la tabla siguiente se ha delimitado la zona húmeda (véase en la Figura 8)

Para realizar la valoración de las variables utilizaremos el método de Bieniawski (1989). La tabla siguiente será la utilizada para hacer la valoración del parámetro agua subterránea.

Tabla 24. Agua subterránea, Bieniawski (1989).

Parámetro: agua subterránea					
Caudal por 10m de túnel	Nulo	10 (l/min)	10-25(l/min)	25-125 (l/min)	>125(l/min)
Presión Agua/tensión	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
Puntuación	15	10	7	4	0

Tomando como referencia para la evaluación la tabla anterior, estos son los resultados.

Tabla 25. Valoración agua subterránea.

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Valoración	15	15	15	7	7	7	7	4	15	15	15	15	7	7	7	7	4	15	15	10

Si tenemos en cuenta los resultados obtenidos anteriormente y nos guiamos por el croquis de la galería (véase en la Figura 8), se puede observar como la zona central de las galerías de la primera planta presentan un estado húmedo y que en la estación nº17 existe un punto de goteo donde se observan restos de precipitaciones minerales que provienen de las infiltraciones constantes en esta zona. En el Anejo 7 y 8 se pueden observar fotografías del interior de la mina, pero hay una zona donde se puede ver claramente que un fluido de agua constante y eso se puede observar en el **Anejo 9**.

En los tramos de galería analizados existe una pequeña canalización en uno de los lados de la galería y que se identifica con el drenaje de estas infiltraciones. Y en otros se puede observar depósitos sedimentarios en formas de limos arenosos que podrían estar asociados al drenaje del agua que se ven arrastrados. Debido a estos depósitos las dimensiones de la abertura de la galería afectada han disminuido (estaciones 3 y 4).

6.4.6. Orientaciones de las discontinuidades

En este apartado analizaremos, para cada estación geomecánica, la orientación de las diferentes discontinuidades que aparecen en las galerías. Los parámetros a utilizar serán: muy favorable, favorable, mediana, desfavorable y muy desfavorable.

Las orientaciones de las discontinuidades en cada estación son las siguientes:

Tabla 26. Orientaciones de las discontinuidades (Fuente: GEOSUD,2017).

Estación	Estado
1	Mediana
2	Mediana
3	Mediana
4	Mediana
5	Mediana
6	Mediana
7	Mediana
8	Mediana
9	Mediana
10	Mediana
11	Mediana
12	Mediana
13	Mediana
14	Mediana
15	Mediana
16	Mediana
17	Mediana
18	Mediana
19	Mediana
20	Mediana

Para realizar la valoración de las variables utilizaremos el método de Bieniawski (1989). La tabla siguiente será la utilizada para hacer la valoración del parámetro orientaciones de discontinuidades.

Tabla 27. Corrección de orientaciones de discontinuidades, Bieniawski (1989).

Corrección de orientaciones de discontinuidades						
Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Mediana	Desfavorable	Muy desfavorable
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentación	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Tomando como referencia para la evaluación la tabla anterior, estos son los resultados:

Tabla 28. Valoración de las orientaciones de las discontinuidades

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Valoración	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5

6.4.7. Evaluación del índice RMR básico (RMR_b) y el RMR corregido (RMR_c)

Para cada variable analizada, y según la clasificación geomecánica de Bieniawski (1989), se realiza una valoración del Índice RMR básico (RMR_b) y un RMR corregido (RMR_c).

Para hallar el RMR básico, se realiza el sumatorio de los 5 parámetros que hemos evaluado con anterioridad.

$$RMR = RC \text{ roca} + RQD + \text{Separación disc.} + \text{Estado diaclasas} + \text{Condiciones agua}$$

Para poder hacer la corrección del RMR_b , se utiliza la tabla de corrección de orientaciones de discontinuidades de Bieniawski (véase en las tablas 27 y 28).

Tabla 29. Caracterización del índice RMR (básico y corregido).

Estación	RMR básico (RMR_b)	RMR corregido (RMR_c)
1	57	52
2	62	57
3	62	57
4	45	40
5	44	39
6	44	39
7	44	39
8	42	37
9	64	59
10	67	62
11	56	51
12	59	54

Estación	RMR básico (RMR _b)	RMR corregido (RMR _c)
13	50	45
14	51	46
15	47	42
16	47	42
17	46	41
18	56	51
19	55	50
20	49	44

Con los valores de la tabla anteriores (Tabla 29) obtenemos el valor medio del índice RMR básico y el del RMR corregido (Tabla 30).

Tabla 30. Valor medio índice RMR (básico y corregido).

RMR _b	52.35
RMR _c	47.35

6.5. Clasificación general de las galerías y el macizo rocoso

Una vez realizado la evaluación del Índice RMR de cada tramo de galería de la mina y con la obtención de los diferentes valores de RMR corregido (RMR_c), se puede llevar a cabo una clasificación general de las galerías de la mina y el macizo rocoso, teniendo en cuenta la calidad y las características geomecánicas citadas anteriormente para cada una de las estaciones. Como se ha venido haciendo hasta ahora, seguiremos el método de Bieniawski (1989).

6.5.1. Clasificación de las galerías

El índice RMR distingue cinco clases que corresponden a la calidad del macizo rocoso, las cuales encontramos en la siguiente tabla:

Tabla 31. Calidad del macizo rocoso en relación al Índice RMR, Binianwsky (1989).

Parámetro: Calidad del macizo rocoso en relación al Índice RMR				
Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo rozamiento
I	Muy buena	100-81	>4 kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm ²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm ²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm ²	15°-25°
V	Muy mala	<20	<1 kg/cm ²	<15°

Por tanto, la clasificación general de las galerías del macizo rocoso según Bieniawski quedaría tal que así:

Tabla 32. Clasificación general según Bieniawski.

Estación	RMR_c	Clase	Calidad	Cohesión (kg/cm²)	Ángulo de rozamiento (°)
1	52	III	Media	2 a 3	25 a 35
2	57	III	Media	2 a 3	25 a 35
3	57	III	Media	2 a 3	25 a 35
4	40	IV	Mala	1 a 2	15 a 25
5	39	IV	Mala	1 a 2	15 a 25
6	39	IV	Mala	1 a 2	15 a 25
7	39	IV	Mala	1 a 2	15 a 25
8	37	IV	Mala	1 a 2	15 a 25
9	59	III	Media	2 a 3	25 a 35
10	62	II	Buena	3 a 4	35 a 45
11	51	III	Media	2 a 3	25 a 35
12	54	III	Media	2 a 3	25 a 35
13	45	III	Media	2 a 3	25 a 35
14	46	III	Media	2 a 3	25 a 35

Estación	RMR _c	Clase	Calidad	Cohesión (kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
15	42	III	Media	2 a 3	25 a 35
16	42	III	Media	2 a 3	25 a 35
17	41	III	Media	2 a 3	25 a 35
18	51	III	Media	2 a 3	25 a 35
19	50	III	Media	2 a 3	25 a 35
20	44	III	Media	2 a 3	25 a 35

Viendo los resultados de la clasificación general, podemos decir que el macizo rocoso es de clase III con una calidad media, cohesión es de unos 2 a 3 kg/cm² y del ángulo de rozamiento es de 25 a 35° en gran parte de las galerías de la mina, menos en las estaciones geomecánicas que aparecen con valores más bajos, que es justamente donde hay existencia de infiltraciones y la calidad del macizo rocoso es inferior.

Si vamos al texto donde habla de las características del subsuelo de la zona (véase en tabla 7) podemos constatar que nos encontramos dentro de los varemos dados para el nivel del subsuelo B, nivel donde se encuentran las galerías de la mina.

6.5.2. Clasificación del macizo rocoso

Con el valor medio del RMR corregido es posible clasificar, de forma general, el macizo. Como vemos a continuación:

Tabla 33. Clasificación general del macizo rocoso según Bieniawski

Parámetro	Valor medio RMR _c	Clase	Calidad	Cohesión (kg/cm ²)	Ángulo de rozamiento (°)
Macizo rocoso	47.35	III	Media	2 a 3	25 a 35

6.5.3. Riesgo geológico

La existencia de un macizo rocoso de mala calidad en las estaciones de la 4 a 8, las cuales se sitúan dentro de la zona húmeda, nos obliga a no descartar el riesgo geológico de hundimiento puntual en esta zona. Aun y con todo esto, realmente existe una baja posibilidad de hundimiento dadas las características georesistentes generales del macizo rocoso.

6.5.4. Estimación del Índice Q

Otro de los métodos utilizados para la clasificación geomécanica del macizo rocoso es mediante el Índice Q de Barton, el cual nos propone para la clasificación del macizo la siguiente expresión:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

Hallando, cada uno de los parámetros de la expresión anterior, con la utilización de la tabla que puede verse en el **Anejo 10**.

También existen correlaciones entre los índices Q y RMR que permiten evaluar el valor del Índice Q mediante el índice RMR ya calculado con anterioridad. Las tres correlaciones existentes son las siguientes:

$$RMR=9 \cdot \ln(Q)+44=20.7 \cdot \log(Q)+44$$

$$RMR=13.5 \cdot \log(Q)+43$$

$$RMR=12.5 \cdot \log(Q)+55.2$$

Para la estimación del Índice Q utilizaremos **RMR=20,7 log(Q) +44**, obteniendo la tabla siguiente:

Tabla 34. Estimación del Índice Q de Barton

Estación	RMR _c	Índice Q
1	52	2.40
2	57	4.20
3	57	4.20
4	40	0.60
5	39	0.60
6	39	0.60
7	39	0.60
8	37	0.45
9	59	5.30
10	62	7.40
11	51	2.20

Estación	RMR _c	Índice Q
12	54	3.00
13	45	1.10
14	46	1.25
15	42	0.80
16	42	0.80
17	41	0.70
18	51	2.20
19	50	1.95
20	44	1.00

6.6. Análisis de la estabilidad de las galerías

Para garantizar la seguridad en túneles y galerías se analiza los posibles sostenimientos a partir de la clasificación global en función de las características del macizo rocoso.

Con los índices RMR y Q de Barton que se han evaluado anteriormente se puede estimar, de forma empírica, los diferentes sostenimientos recomendados para garantizar la estabilidad de las galerías.

6.6.1. Estimación del sostenimiento en función del Índice RMR

Para hacer una estimación del sostenimiento recomendado con esta metodología, debemos utilizar valores extremos del Índice RMR (véase en la tabla 34). En este caso encontramos en la estación 8 el valor mínimo de RMR siendo este 37 y en la estación 10 el valor máximo de RMR siendo este 62.

Una vez localizado estos valores, nos dirigimos a la gráfica para el sostenimiento en función del Índice RMR (véase en Figura 10).

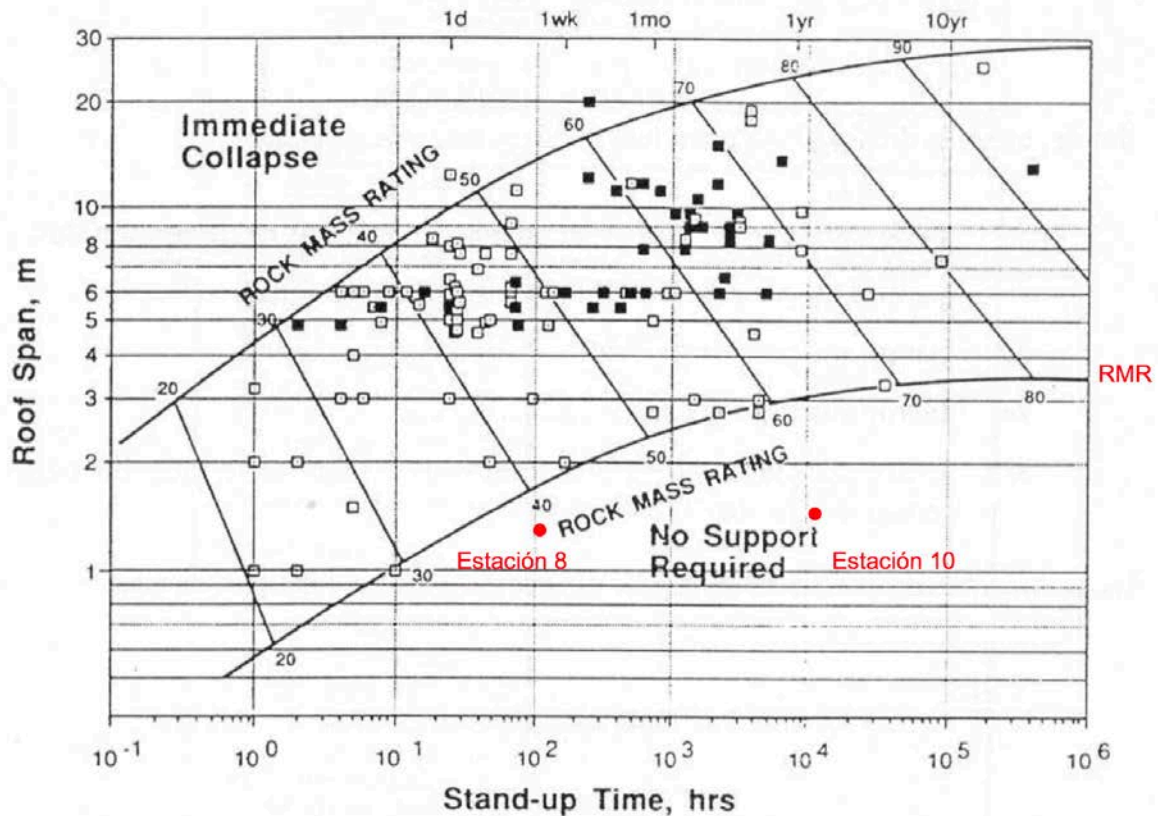


Figura 10. Gráfica para la estimación del sostenimiento en función del Índice RMR de Bieniawski (1989).

Teniendo en cuenta que la anchura de galería es de unos 1,50m, se puede observar como los valores extremos estarían en la zona excluida de sostenimiento recomendado. Aún así, se incluyen unas recomendaciones generales, tales como:

- Clase II (estación 10): Bulonado local en techo con longitud de 3 m y separación de 2,5m con mallado puntual en sección. Hormigón proyectado de 50mm en clave donde sea necesario.
- Clase III (resto de estaciones): Bulones sistemáticamente en techo y paredes laterales con longitud de 4m y separación de 1,50 a 2m. Mallazo en techo. Hormigón proyectado de 50 a 100mm en techo y de 30mm en paredes laterales.
- Clase IV (estaciones 4, 5, 6,7, y 8): Bulones sistemáticamente en techo y paredes laterales con longitud de 4 a 5m y separación de 1 a 1,50m. Mallazo. Hormigón proyectado de 100 a 150mm en techo y de 100mm en paredes laterales.

Los pozos de ventilación existentes se situarían en la zona con el sostenimiento recomendado anterior.

Para estas recomendaciones se ha utilizado la tabla de recomendaciones de sostenimiento de Bieniawski (1989) que se encuentra en el **Anejo 11**.

6.6.2. Estimación del sostenimiento en función del Índice Q

Para hacer una estimación del sostenimiento recomendado con esta metodología, debemos utilizar igual que en el apartado anterior los valores extremos pero esta vez del Índice Q (véase en tabla 34). En este caso encontramos en la estación 8 el valor mínimo de RMR siendo este 0,45 y en la estación 10 el valor máximo de RMR siendo este 7,40.

Una vez localizado estos valores, nos dirigimos a la gráfica para el sostenimiento en función del Índice Q (véase en figura 11).

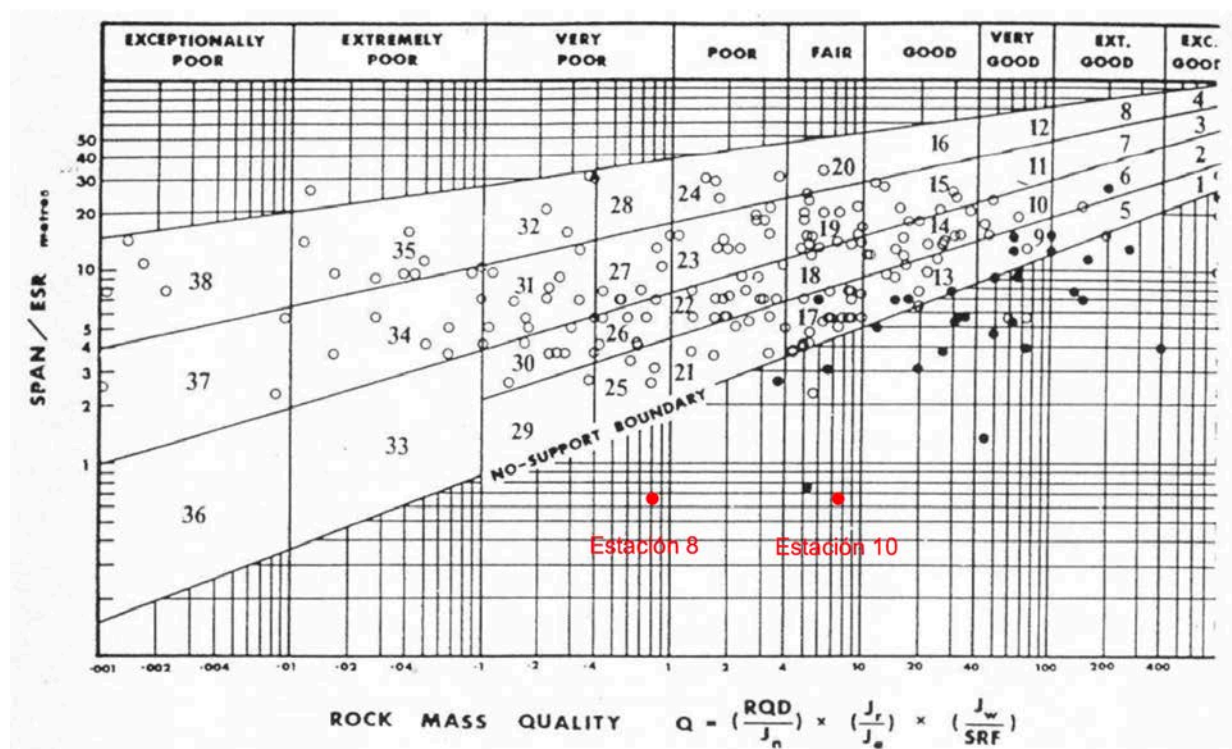


Figura 11. Gráfica para la estimación del sostenimiento en función del Índice Q (Barton, 1989)

Igual que con el Índice RMR, se tiene en cuenta que la anchura de galería es de unos 1,50m. Se puede observar como los valores extremos estarían en la zona excluida de sostenimiento recomendado.

Los pozos de ventilación existente se situarían en el límite de la zona con sostenimiento recomendado con bulonado sistemático y hormigón proyectado porque aprecia cierto deterioro en las paredes debido a la erosión causada por la precipitación local, como ya se ha comentado anteriormente.

6.6.3. Estimación global de estabilidad de las galerías

Después de realizar la estimación del sostenimiento para las galerías de la mina en base a los dos métodos utilizados se concluye que la estimación global de la estabilidad de las galerías es encuentran dentro de la zona estable y sin requerimiento previo de sostenimiento.

La existencia puntual de sostenimiento, sobretudo donde se encuentras las estaciones geomecánicas 4,5,6,7, y 8, se podría asociar a diaclasas locales, problemas de filtraciones con el consecuente arrastre de material.

6.7. Estado actual de las galerías

Llegados a este punto, con los datos de caracterización del subsuelo y del macizo rocoso de la zona de estudio conjuntamente con los datos del análisis de estabilidad y la estimación de sostenimiento para las galerías de la mina, realizaremos un estudio de las galerías utilizando tres de los programas que contiene el paquete Rocscience®.

6.7.1. Estudio de discontinuidades

Según la información ofrecida para la realización de este estudio, en campo fue medida la dirección de los planos de las discontinuidades respecto el norte y la inclinación de máxima pendiente. Gracias a dichas mediciones, obtendremos las proyecciones estereográficas de las discontinuidades existentes en las galerías de la mina.

Utilizando el programa Dips (Rocscience®), el cual está diseñado para realizar análisis y visualizar información estructural de igual modo que si usaremos una red estereográfica, se ha realizado la proyección estereográfica de cada una de las fracturas existentes a lo largo de la galería de la mina y se ha obtenido la orientación media de las familias de fracturas para tres tramos de galería de la mina.

De cada tramo representativo de la mina, se ha obtenido la proyección estereográfica y las

principales familias de fracturas. También los polos de las fracturas que están representados por puntos y en colores diferentes. Por último, las fracturas y sus planos representativos.

Las galerías más accesibles han sido divididas en 3 tramos o perfiles:

- Perfil 1: Comprendido desde la entrada a la galería hasta el cruce de galerías en la estación geomecánica 14, (véase en Figura 8)
- Perfil 2: Comprendido desde el cruce de galerías en la estación geomecánica 14 hasta el pozo de ventilación cerca de la estación geomecánica 8, (véase en Figura 8).
- Perfil 3: Comprendido desde el cruce de galerías en la estación geomecánica 14 hasta el pozo principal cerca de la estación geomecánica 19, (véase en Figura 8).

Con las orientaciones de las capas del macizo rocoso de la excavación medidas en campo, hemos obtenido los siguientes resultados.

PERFIL 1

Primero se introducen las orientaciones de las capas, medidas en campo, agrupadas por familias.

Tabla 35. Buzamiento y dirección de buzamiento de las capas del perfil 1

Buzamiento	Dirección buzamiento	Familia
25	190	1
25	190	1
25	190	1
25	190	1
30	170	1
40	155	2
45	160	2
45	160	2
45	160	2
35	235	2
30	214	3

Buzamiento	Dirección buzamiento	Familia
35	210	3
35	210	3
15	260	3
35	210	3

Seguidamente obtenemos la proyección estereográfica de las discontinuidades existentes en el perfil 1 (véase en la figura 12).

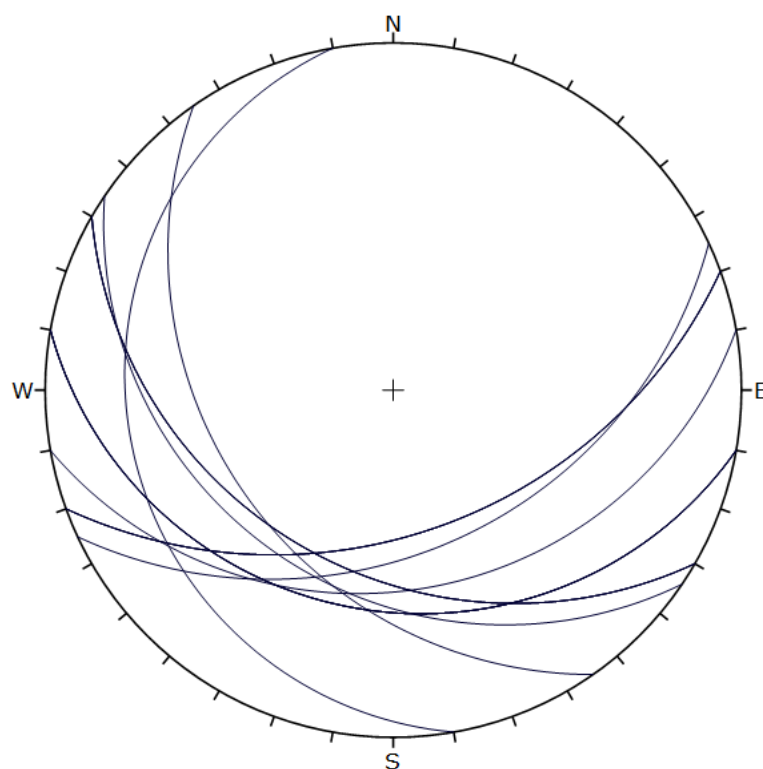


Figura 12. Proyección estereográfica de las discontinuidades del perfil 1

Una vez introducidas todas las discontinuidades agrupadas por familias, se obtiene la dirección media de las familias de fracturas junto con los polos de las fracturas, como se puede ver a continuación (véase en la figura 13).

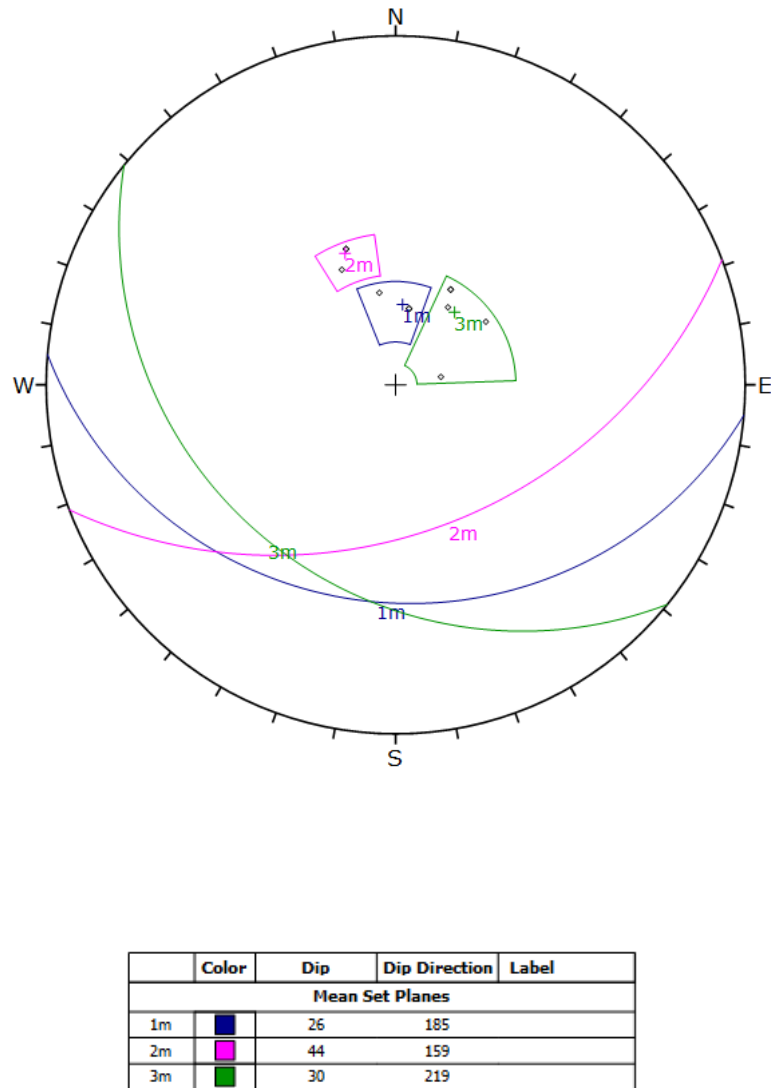


Figura 13. Proyección estereográfica de las orientaciones media de las familias de fracturas del perfil 1

En ambas proyecciones estereográficas se puede observar como aparece una pequeña cuña, la cual, puede ser signo de inestabilidad. Si retrocedemos a la clasificación general de las galerías, hallamos que en los resultados obtenidos a partir de la estación geomecánica 4 y hasta la 8, se encuentra la zona inestable de la mina. La estación geomecánica 4 pertenece al tramo de galería denominado perfil 1.

PERFIL 2

Introducción de las orientaciones de las capas, medidas en campo, agrupadas por familias.

Tabla 36. Buzamiento y dirección de buzamiento de las capas del perfil 2

Buzamiento	Dirección buzamiento	Familia
45	355	1
40	350	1
45	75	2
45	65	2
75	280	3

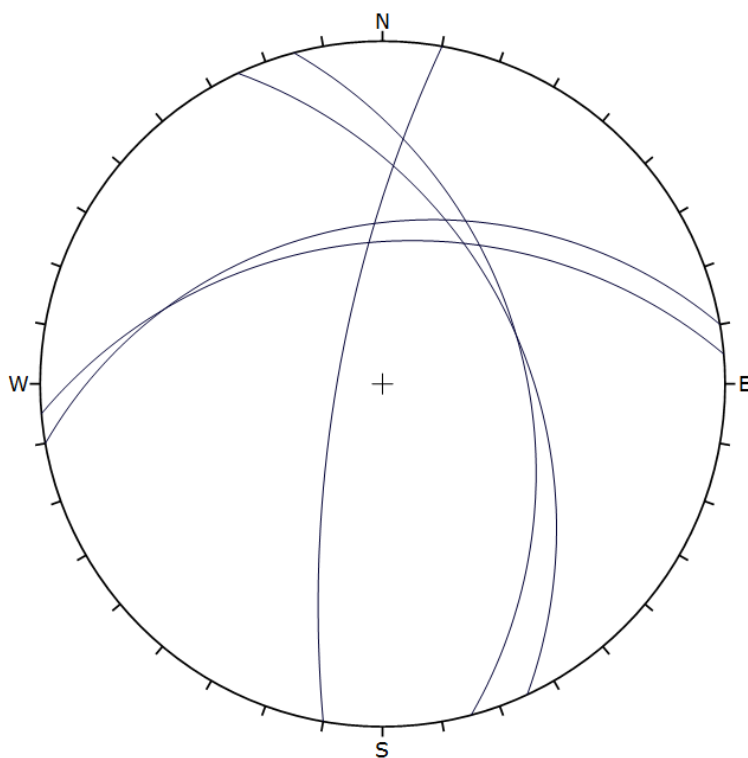


Figura 14. Proyección estereográfica de las discontinuidades del perfil 2.

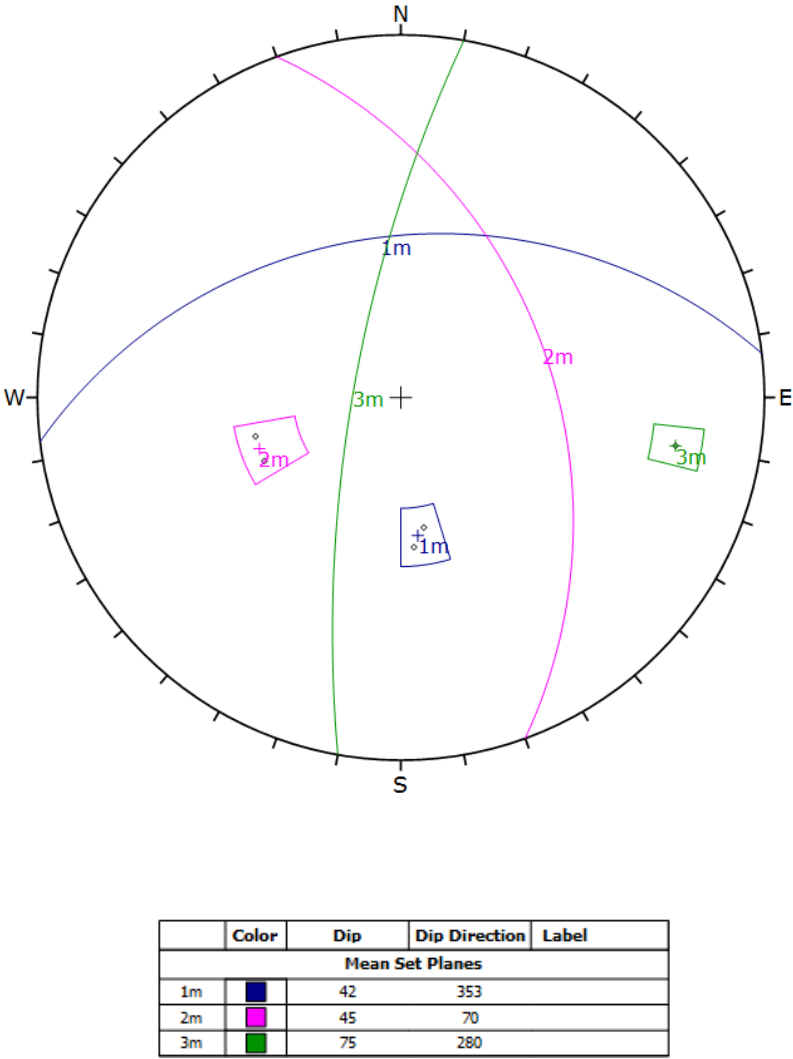


Figura 15. Proyección estereográfica de las orientaciones media de las familias de fracturas del perfil 2

En ambas proyecciones estereográficas se puede observar como aparece una cuña más grande que en el perfil 1, pero no lo suficiente como para considerarse una inestabilidad de gran valor. Como se ha comentado en el perfil 1, a partir de la estación geomecánica 4 hasta la 8 se encuentra la zona inestable de la mina. Por tanto, se confirma la inestabilidad del perfil 2 (estaciones geomecánicas 5,6,7, y 8).

PERFIL 3

Introducción de las orientaciones de las capas, medidas en campo, agrupadas por familias.

Tabla 37. Buzamiento y dirección de buzamiento de las capas del perfil 2

Dip	Dip Direction	Familia
45	65	1
15	0	2
70	265	3

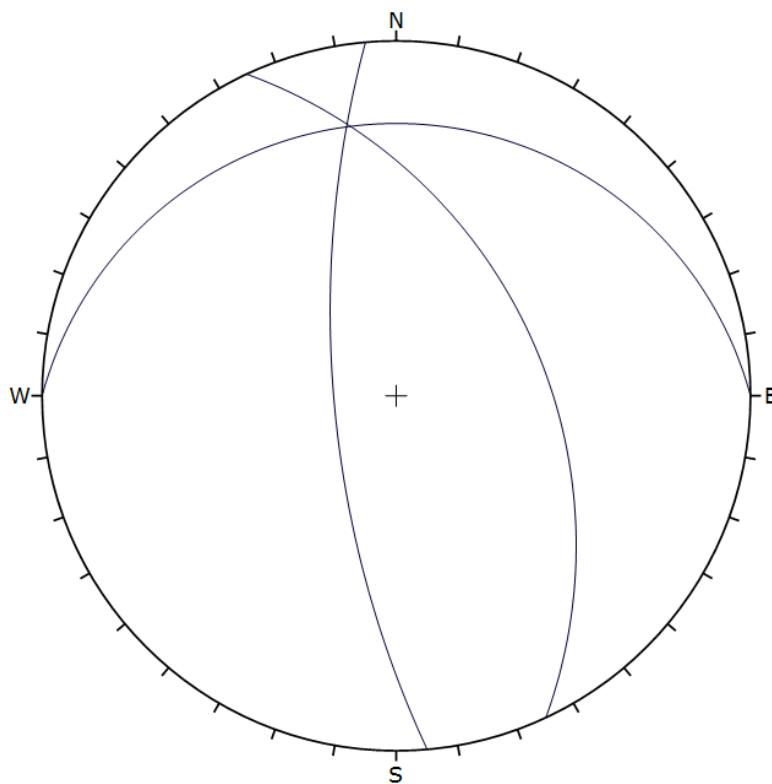


Figura 16. Proyección estereográfica de las discontinuidades del perfil 3

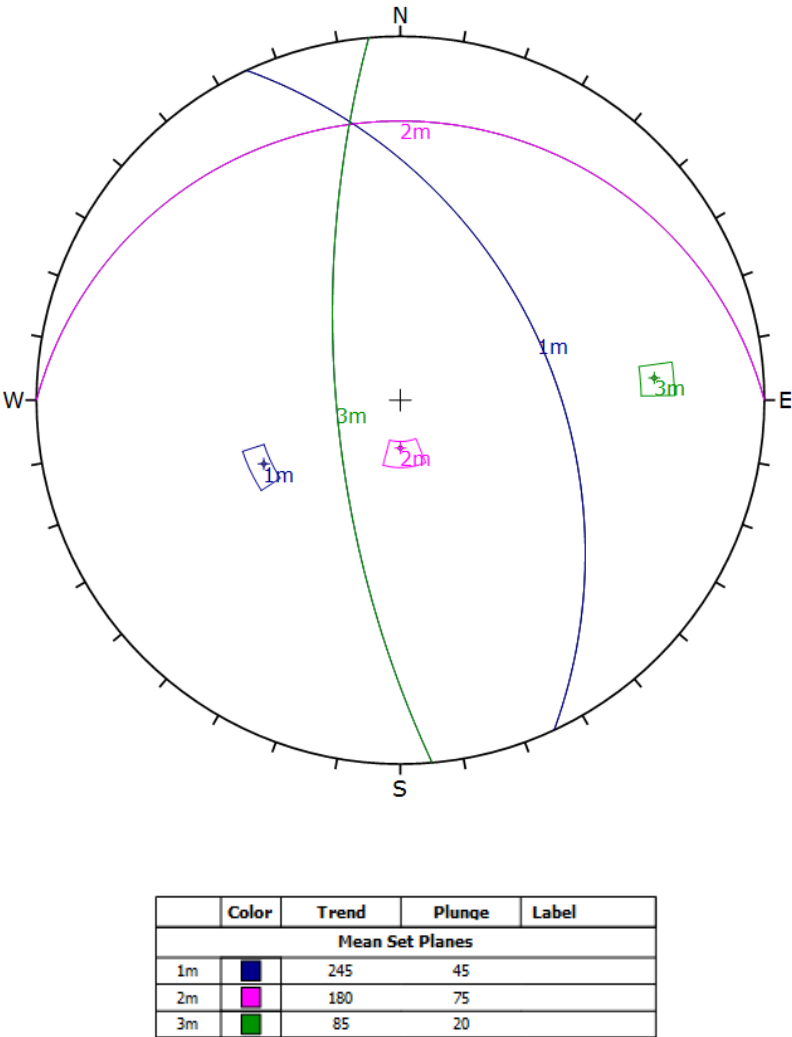


Figura 17. Proyección estereográfica de las orientaciones media de las familias de fracturas del perfil 3.

Tanto en la proyección estereográfica de las discontinuidades como en el de las orientaciones medias de las familias de fracturas, se puede observar que no se produce ninguna cuña y que, por tanto, el perfil 3 es estable.

6.7.2. Estudio del riesgo de caída

La ruptura por cuñas, es producida por la intersección de 3 o más planos de discontinuidad. Por ese motivo, para determinar el riesgo de caída de cuñas en la galería de la mina realizaremos el estudio utilizando el programa Unwedge (Rocscience©). Este programa, nos permite simular los

diferentes movimientos de caída de cuñas dependiendo de la sección de galería, su orientación respecto del norte y su inclinación. En nuestro caso, dado que la galería no es de sección uniforme a lo largo de la totalidad de su recorrido, hemos supuesto una sección como la que se muestra a continuación:

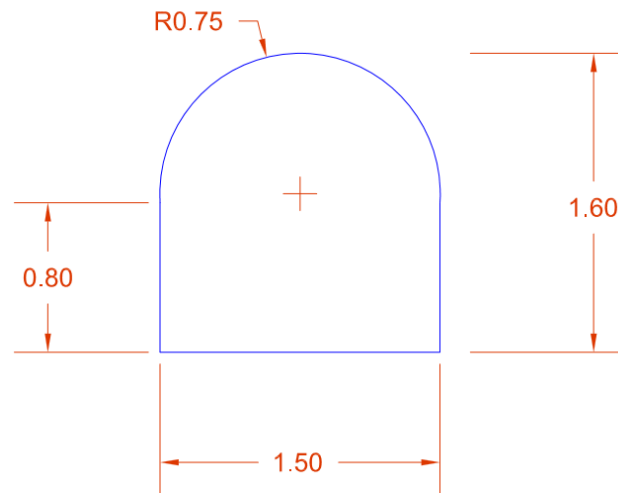


Figura 18. Sección tipo de las galerías de la mina

El análisis de estabilidad se hace con el método del equilibrio límite, que consiste en comparar las fuerzas de la cuña que tiende al movimiento con las fuerzas resistente que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura que, en este caso, es la superficie de la galería, (Vallejo *et al.*, 2002). Este análisis nos proporciona el valor del coeficiente de seguridad.

Cuando la cuña tiene un $F_s < 1$, coeficiente de seguridad, el valor de las fuerzas desestabilizadoras es más grandes que las que estabilizan a la cuña, entonces podemos decir que existe un riesgo de desprendimiento.

Cuando la sección de la galería esta definida y los valores predeterminados siguientes se han mantenido de igual forma.

- Unidad de peso del agua: $0,0001 \text{ MN/m}^3$
- Resistencia a la cizalla según Modelo Mohr-Coulomb ($\Phi = 35^\circ$, Resistencia a la

rotura de tracción = 0MPa y la Cohesión = 0,1 Mpa), la cohesión cogida es algo inferior a la proporcionada con la modelación del ensayo realizado con Rocscience o los resultados obtenidos por la empresa GEOSUD, pero se ha aminorado para estar más al lado de la seguridad.

- Presión del agua: 0 MPa constant

Se introduce en el programa los datos de cada tramo o perfil de la galería y así obtener la formación de las cuñas y el factor de seguridad de cada una de ellas.

PERFIL 1

Insertar en el programa los datos de discontinuidades de la siguiente tabla:

Tabla 38. Datos discontinuidades utilizadas en el programa Unwedge

Orientaciones del túnel		
Tendencia del túnel		60º
Factor de seguridad (Fs)		1
Peso de la roca		0.024MN/m³
Peso del agua		0.010MN/m³
Discontinuidades		
Familia	Buzamiento	Dirección buzamiento
1	26º	185º
2	44º	159º
3	30º	219º
Cuñas		
Nº de cuña	4	5
Factor de seguridad	Estable	Estable
Peso cuña	0.038MN	0.045MN

Según los resultados de las cuñas que se observan en la Tabla 38, tanto la cuña 4 como la cuña 5 que se forman (Figura 19) tiene un factor de seguridad mayor a 1, por eso son estables. Eso no indica que existe riesgo de desprendimiento.

Obtención de modelo de cuñas.

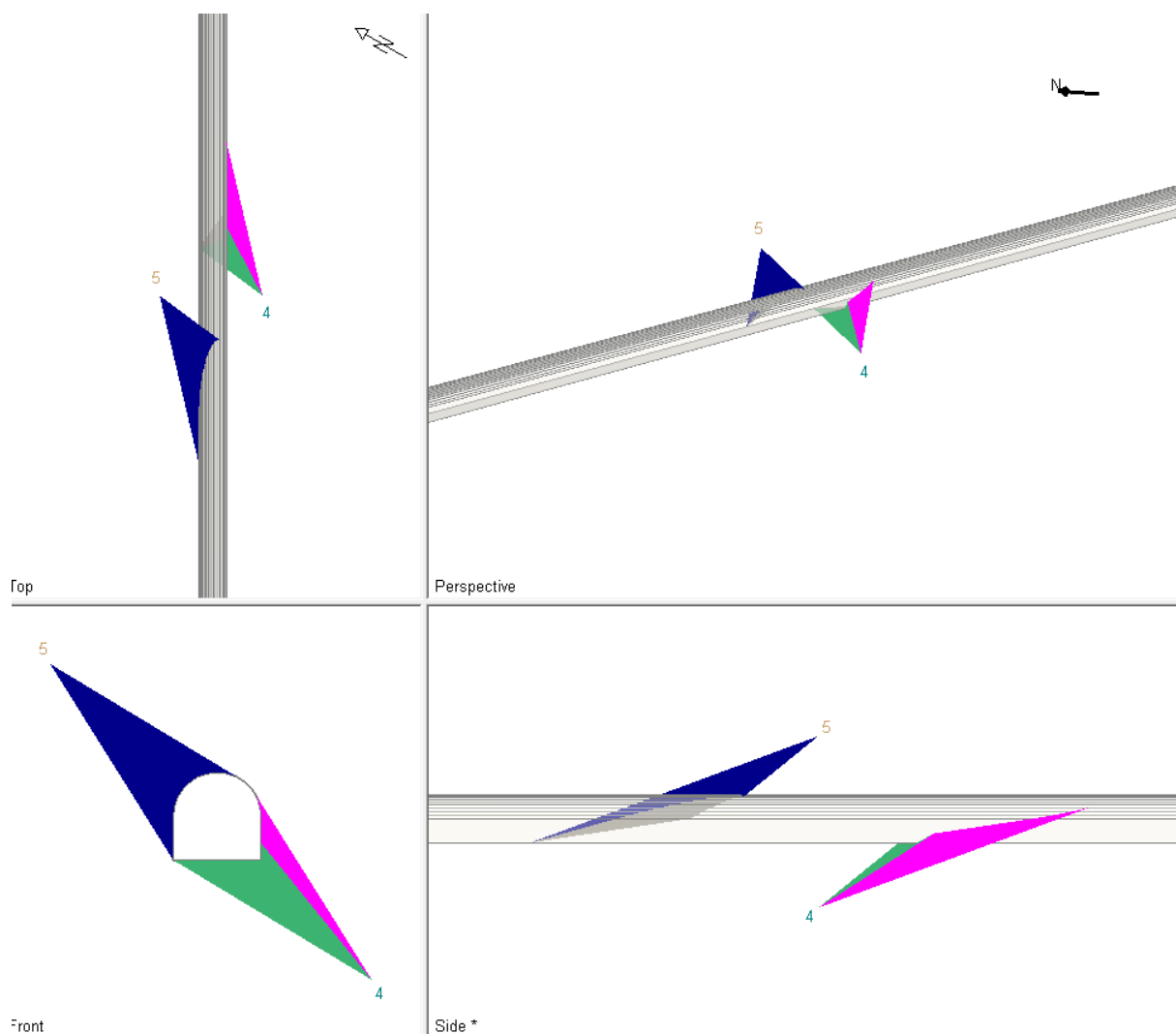


Figura 19. Representación de las cuñas existentes en el perfil 1. Programa Unwedge.

PERFIL 2

Insertar en el programa los datos de discontinuidades de la siguiente tabla:

Tabla 39. Datos discontinuidades utilizadas en el programa Unwedge

Orientaciones del túnel					
Tendencia del túnel			10º		
Factor de seguridad (Fs)			1		
Peso de la roca			0.024MN/m³		
Peso del agua			0.010MN/m³		
Discontinuidades					
Familia		Buzamiento		Dirección buzamiento	
1		42º		353º	
2		45º		70º	
3		75º		280º	
Cuñas					
Nº de cuña		3	4	5	6
Factor de seguridad		Estable	Inestable	Estable	Estable
Peso cuña		0.000MN	0.018MN	0.040MN	0.000MN

Según los resultados de las cuñas que se observan en la Tabla 39, las cuñas 3, 5 y 6 que se forman (Figura 20) tiene un factor de seguridad mayor a 1, por eso son estables. Eso no indica que existe riesgo de desprendimiento. En cambio, la cuña 4 (Figura 20) tiene un factor de seguridad inferior a 1, eso significa que existe riesgo de desprendimiento. Estos resultados coinciden los con obtenidos en los análisis de estabilidad de la galería.

Obtención de modelo de cuñas.

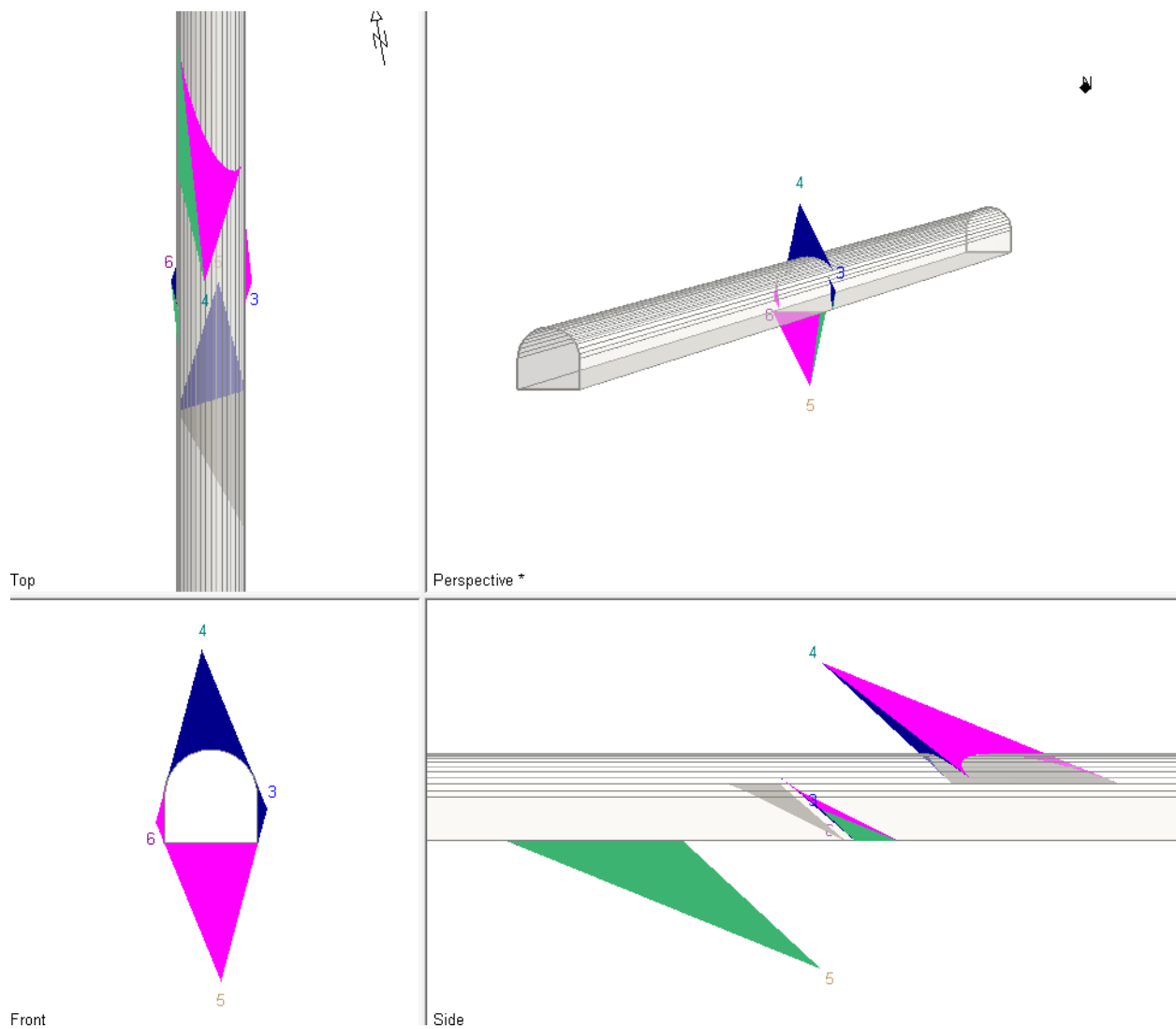


Figura 20. Representación de las cuñas existentes en el perfil 2. Programa Unwedge.

PERFIL 3

Insertar en el programa los datos de discontinuidades de la siguiente tabla:

Tabla 40. . Datos discontinuidades utilizadas en el programa Unwedge

Orientaciones del túnel			
Tendencia del túnel		340º	
Factor de seguridad (Fs)		1	
Peso de la roca		0,024MN/m³	
Peso del agua		0,010MN/m³	
Discontinuidades			
Familia	Buzamiento		Dirección buzamiento
1	245º		45º
2	180º		75º
3	85º		20º
Cuñas			
Nº de cuña	4	5	7
Factor de seguridad	Estable	Estable	Estable
Peso cuña	0.015MN	0.003mn	0.000mn

Según los resultados de las cuñas que se observan en la Tabla 40, las tres cuñas (4, 5 y 7) que se forman en este perfil (Figura 21) tiene un factor de seguridad mayor a 1, por eso son estables. Eso no indica que existe riesgo de desprendimiento. Coincidiendo con los resultados obtenidos en el análisis de estabilidad de la galería.

Obtención de modelo de cuñas.

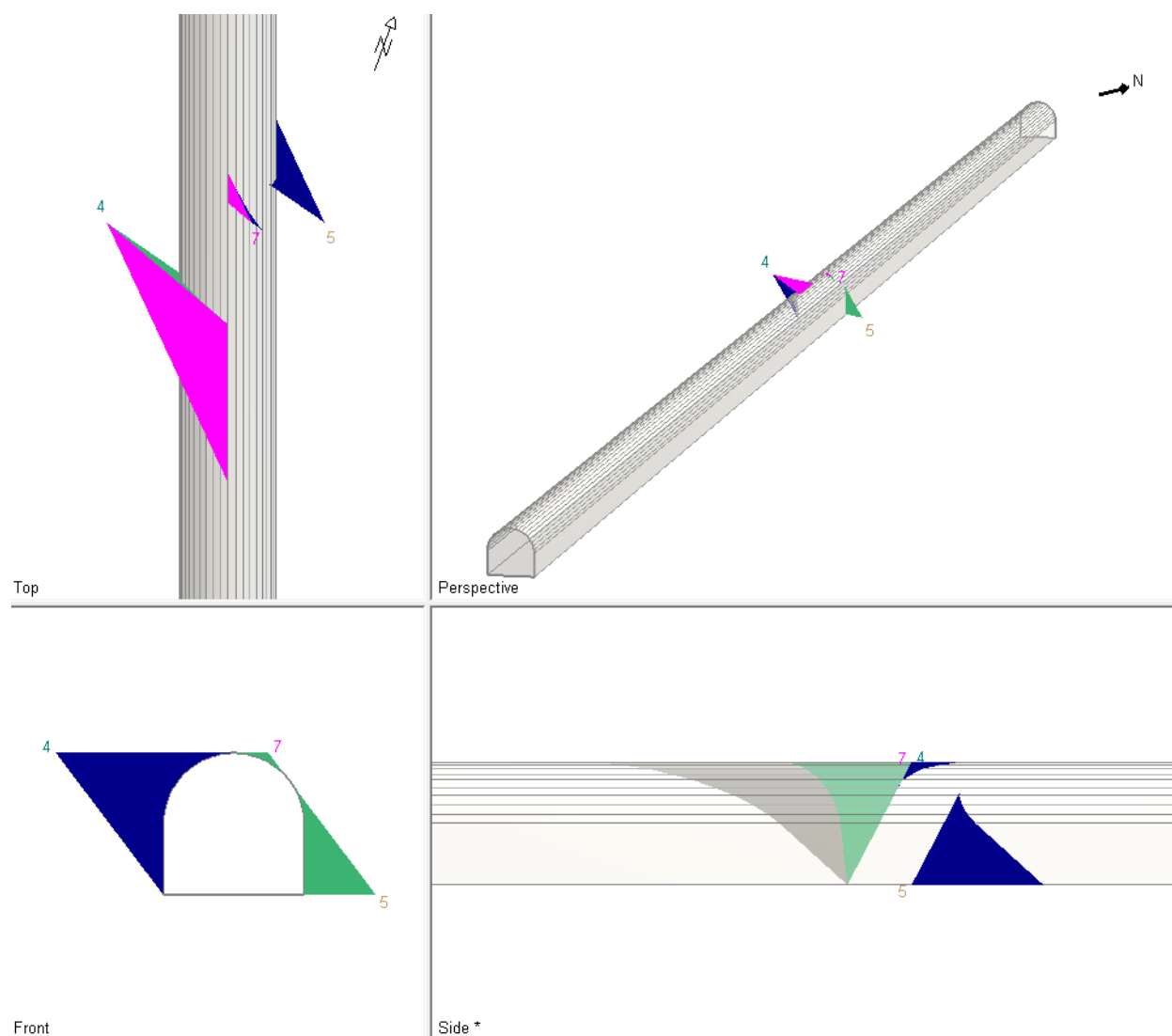


Figura 21. Representación de las cuñas existentes en el perfil 3. Programa Unwedge.

Las diferentes galerías analizadas presentan, en general, una buena estabilidad y no se observa inestabilidades globales en forma de deslizamientos de bloques u otros fenómenos asociados.

La intersección de los diferentes planos de discontinuidades existentes delimita pequeños bloques los cuales han generados caídas de bloque de tamaño centimétrico y básicamente en las paredes laterales.

El mayor porcentaje de bloques caídos se sitúa en el perfil 2 entre las estaciones 5 a las 7 donde la dirección de la galería es la más favorable a este tipo de inestabilidad.

6.7.3. Estudio del túnel

Por último, realizaremos un estudio del túnel con el programa RS2 o Phase2 (Rocscience©), el cual es un software en 2D de elementos finitos para el cálculo de esfuerzos y deformaciones alrededor de las excavaciones.

Primeramente, dividiremos el estudio consta de dos etapas: Túnel sin excavar y túnel excavado. Después se define la geometría de la excavación, las condiciones de contorno y el campo de tensiones existente in situ. Con los datos del material, del cual se compone el macizo rocoso de la zona de estudio que se ha obtenido con el programa RocData, se caracteriza el material donde se halla la excavación, que en este caso es un único material (arenisca).

Seguidamente se realiza la excavación y se halla su distribución de carga interna.

Y, finalmente, se calcula una primera aproximación del desplazamiento total y la convergencia en una sección de una de las galerías de la mina.

Estos son los resultados obtenidos para cada etapa.

1ªEtapa. Túnel sin excavar

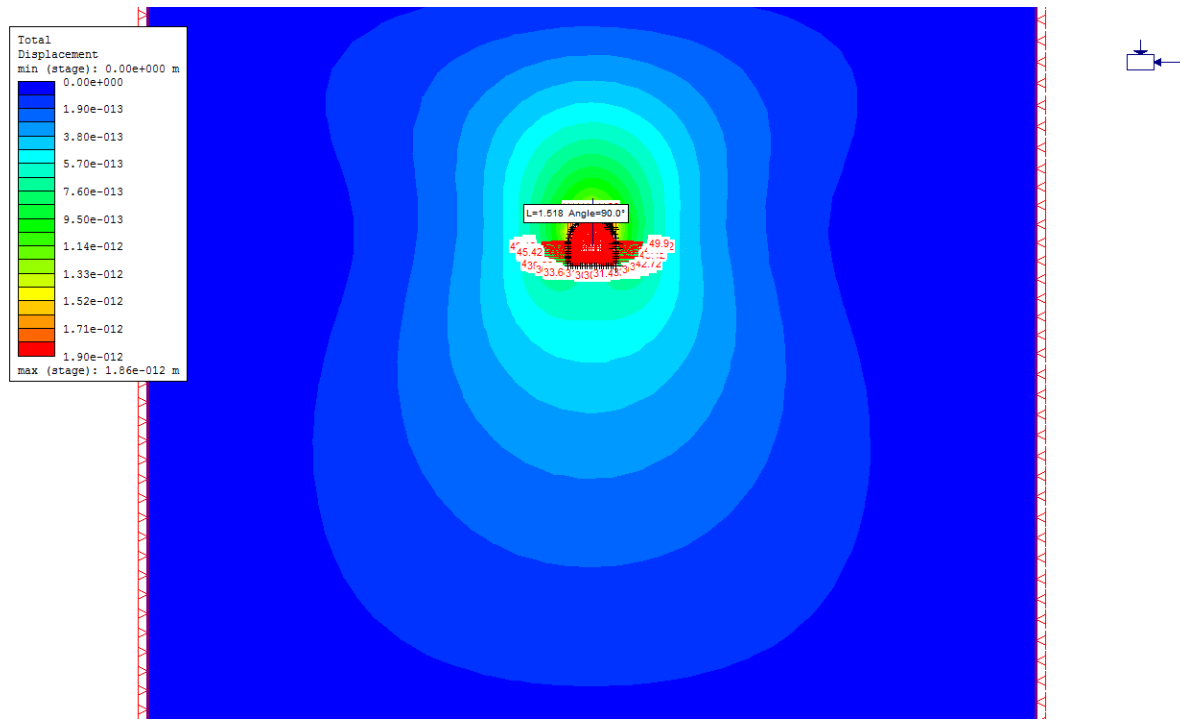


Figura 22. Resultados obtenidos con RS2, en la 1ªetapa

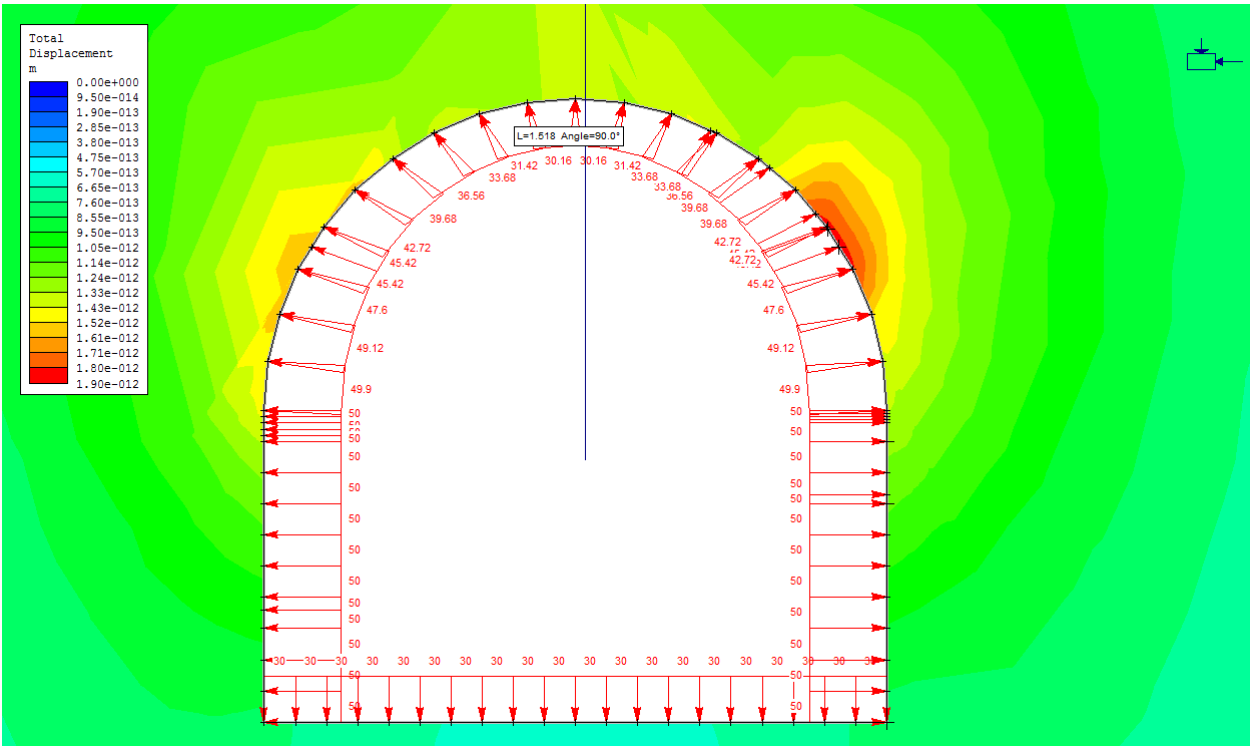


Figura 23. Resultados obtenidos con RS2, en la 1ªetapa.

En esta primera etapa, donde solo se ha excavado el inicio del túnel se puede observar (Figura 22 y Figura 23) como el desplazamiento total es apenas apreciable y se desplaza en la parte superior derecha de la bóveda.

2ªEtapa. Túnel excavado

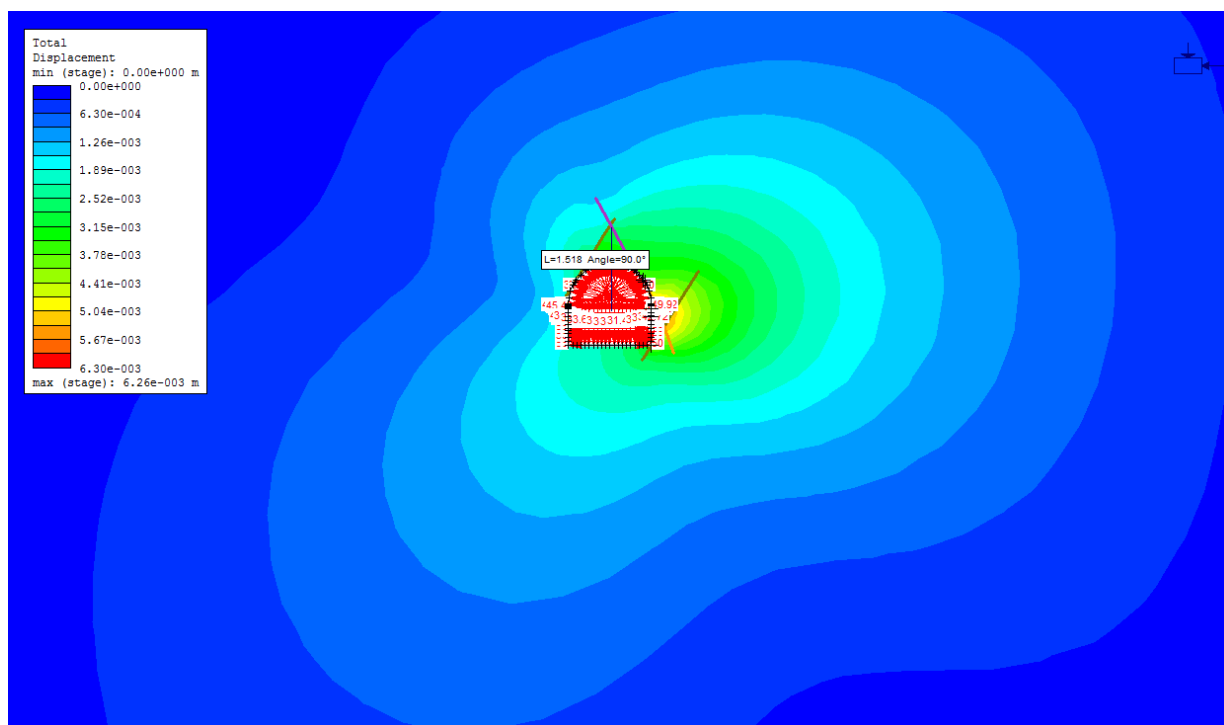


Figura 24. Resultados obtenidos con RS2, en la 2ªetapa.

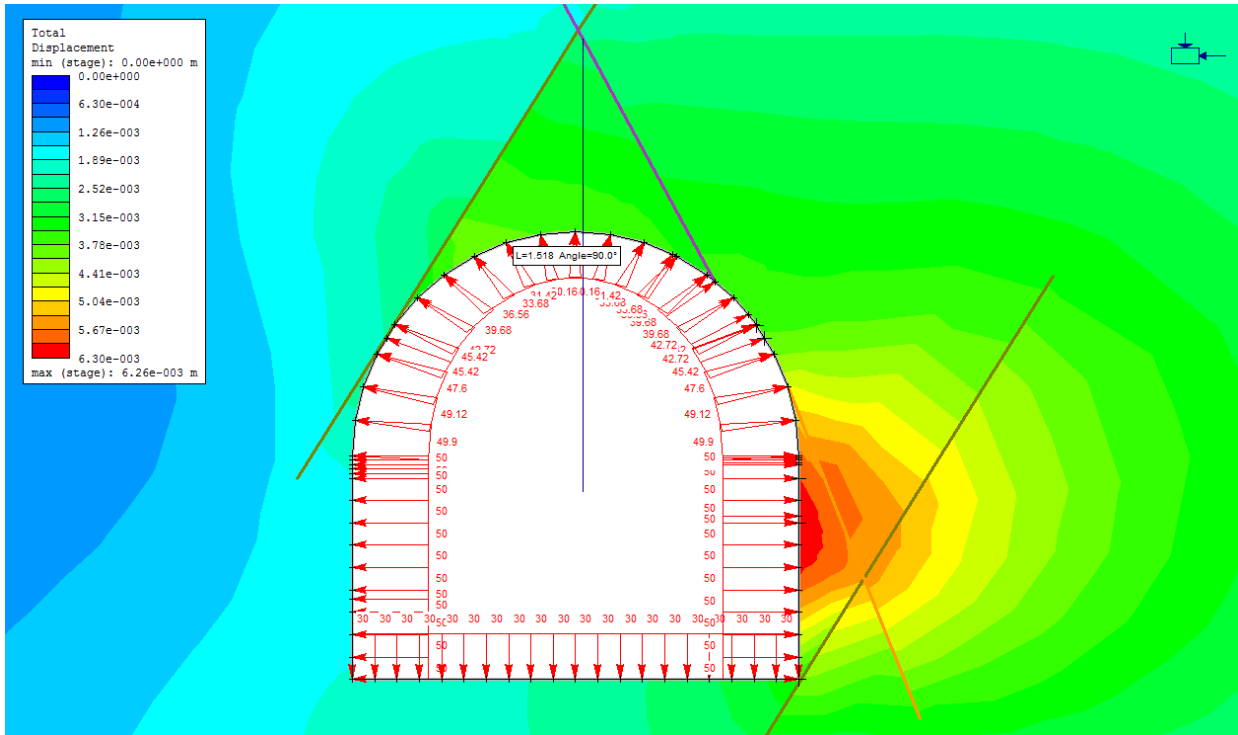


Figura 25. Resultados obtenidos con RS2, en la 1ªetapa.

En esta segunda etapa, donde se realiza la excavación y se han colocado las cuñas existentes en el tramo de galería más desfavorables, es decir con posibilidad de caída, de la mina. De esta manera, se observa (Figura 24 y Figura 25) como el desplazamiento del techo de nuestra excavación se desplaza hacia uno de los hastiales del túnel. Una vez obtenido el total desplazamiento, calculamos cuánto se desplaza el techo del túnel mediante los datos obtenidos y la siguiente gráfica.

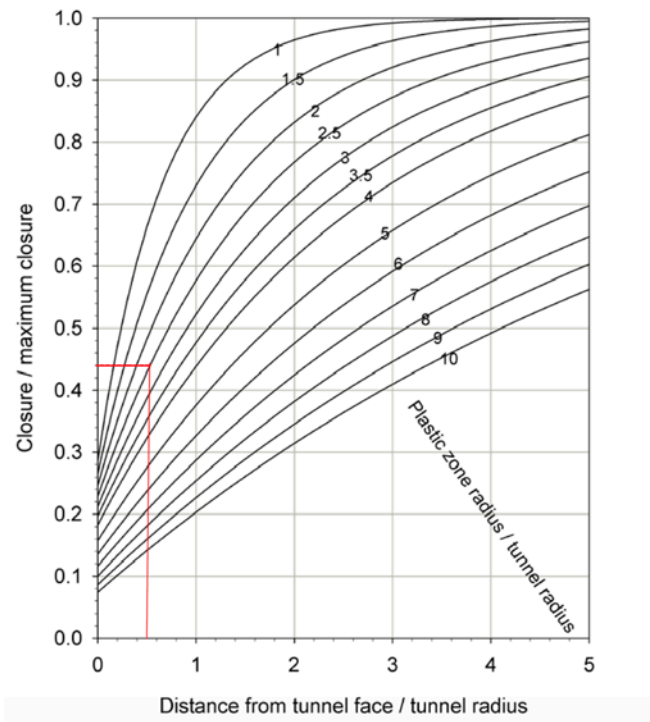


Figura 26. Gráfica utilizada para obtener el desplazamiento total

El desplazamiento total del techo del túnel es de: 0,006 metros.

7. ESTUDIO DE HIDROLOGÍA

Respecto a la zona húmeda encontrada en la zona más inestable de las galerías de la mina, realizaremos un estudio hidrológico para hallar el motivo de dicha existencia de agua en las galerías y ver su posible afectación a gran escala para posibilitar la apertura al público de la mina.

En un principio se creyó que podría ser debido al agua subterránea infiltrada a partir de la riera Bartolí (ver documento 3: Planos), pero se observó que no podía ser debido a la riera ya que en todo el perfil 1 considerado de la mina no había infiltración de agua. De este modo, se pasó a pensar, que el agua que se observa en el interior de la mina, debía ser debida únicamente por infiltración de agua superficial recogida de episodios de lluvia.

El presente estudio hidrológico tiene como objetivo dar a conocer el movimiento y las distribuciones de las aguas superficiales y el caudal máximo de infiltración en un punto superficial del terreno por encima de la zona húmeda de la mina.

Para ello, primeramente, se ha utilizado el programa ArcMap, que es una aplicación utilizada en ArcGIS. ArcMap es el lugar donde visualizar y explorar toda la información sobre mapas geográficos. Por este motivo, se utiliza dicha aplicación a la hora de elaborar nuestro estudio hidrológico, ya que, permite obtener ciertos atributos de la cuenca o cuencas situadas en la zona de la mina.

Primero, se necesitan las cuadrículas que abarcan la zona de estudio (en nuestro caso 11 cuadrículas) de modelo digital de terreno (MDT (2*2)) bajadas del Institut Cartogràfic de Catalunya, con extensión .txt y pasadas posteriormente a .tiff, para poder trabajar con la extensión GeoHMs dentro de la plataforma ArcMap.

En la Figura 27, se observa la foto en formato raster, donde ya se han unido todas las cuadrículas bajadas del Instituto Cartogràfic de Catalunya.

Una vez unidas las cuadrículas el objetivo es conseguir los siguientes atributos de nuestra cuenca en el programa ArcMap.

- Dirección del flujo.
- Flujo acumulado.

- Longitud de los ríos de la zona.
- Cálculo de la cuenca
- Cálculo de las subcuencas
- Pendiente de cada una de las subcuencas

En este caso, la mina se encuentra en una zona plana y bastante alejada del río Siurana (afuente del río Ebro). Por ese motivo, trabajaremos la cuenca de la riera Bartolí.

Para obtener los atributos citados anteriormente, determinaremos en el programa los ríos existentes en la zona. Normalmente, se considera río a aquellas acumulaciones de agua mayores al 10%, pero en nuestro caso hemos considerado río aquellas con no más de un 1%. Ya que nos encontramos en una zona muy plana.

En la Figura 28, se muestra una imagen una vez tratada con el programa GeoHMS, y calculado todos los atributos de cada una de las subcuencas que forman la cuenca del río Bartolí (Figura 29).

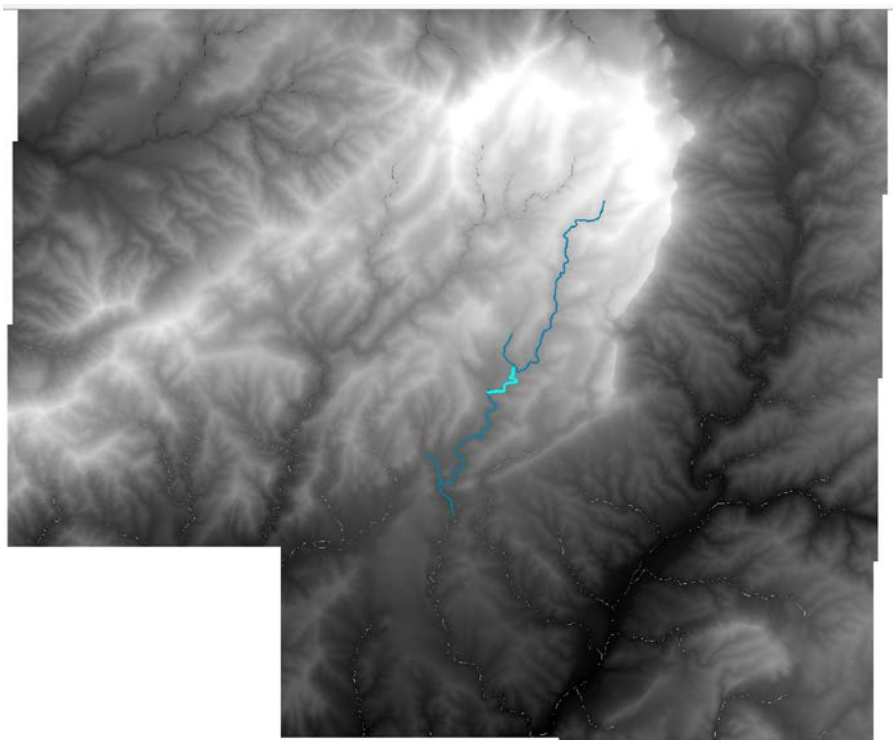


Figura 27. Imagen raster y red de drenaje

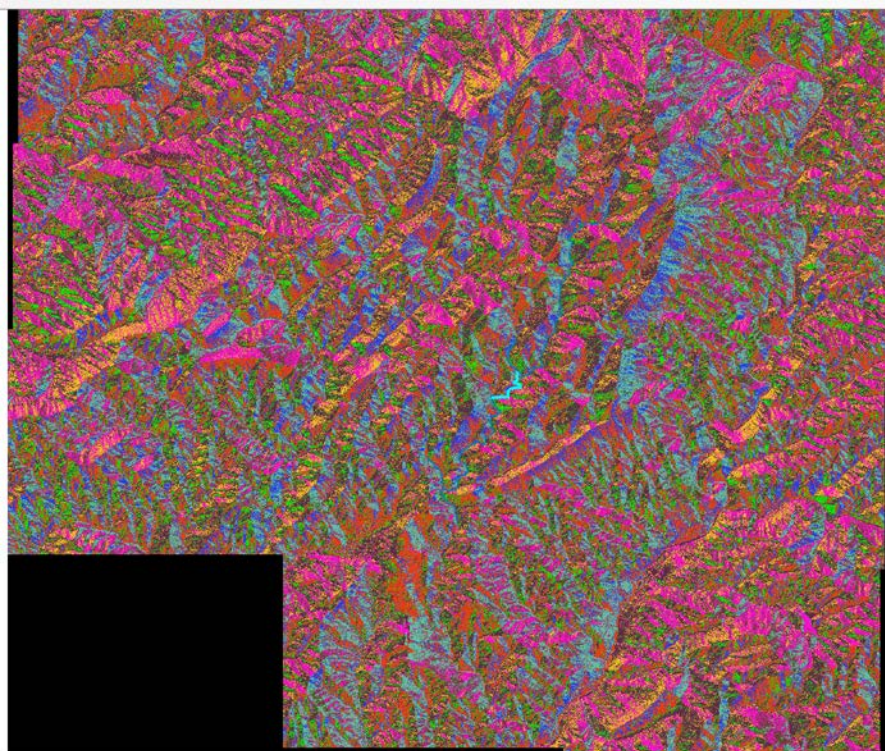


Figura 28. Imagen raster procesada mediante ArcMap, donde se ha rellenado los huecos del raster y calculado la dirección del flujo del agua en la cuenca de estudio

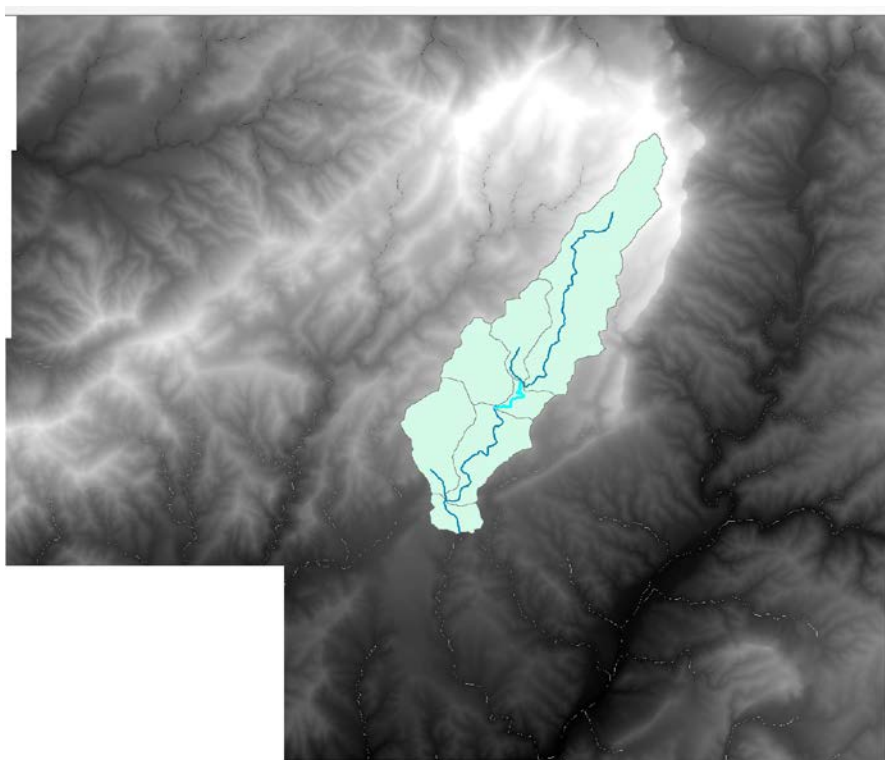


Figura 29. Foto raster donde se observa la cuenca y las subcuencas objeto de estudio

En este caso de estudio, para determinar el agua superficial por encima de la zona húmeda de la mina, debido a que está algo alejado de la riera, lo que hemos hecho ha sido elegir dos puntos de desagüe del área que queremos tener en cuenta a la hora del análisis hidrológico en la riera Bartolí. Colocamos un punto en la riera Bartolí más cercano al norte de la mina para obtener una cuenca y otro punto más al sur para obtener una segunda cuenca, cada una con sus atributos (Figuras 30), así de este modo, abarcamos toda la zona de estudio. Obtenidas las dos cuencas, se resta y se obtiene una cuenca final que será la utilizada para calcular el agua superficial máxima que pasa por encima de la zona húmeda de la mina

Una vez hechos los pasos anteriores, esta es la información halla sobre los atributos de las cuencas

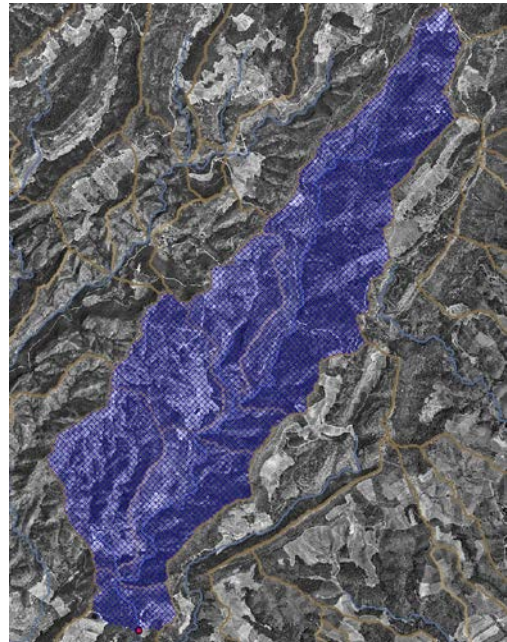
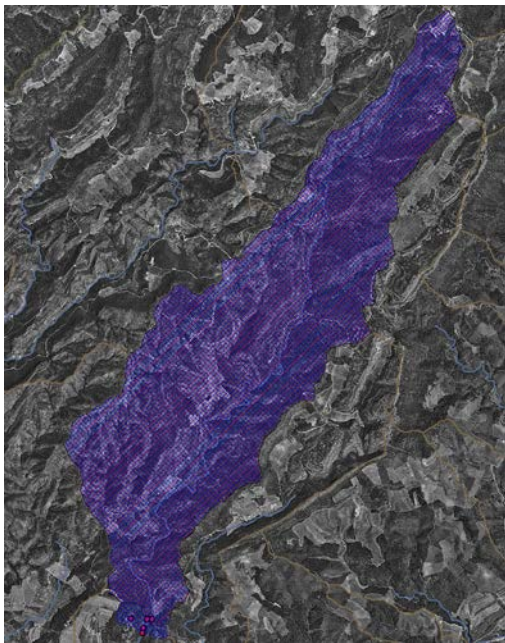


Figura 30 y 31. Imagen de las dos cuencas estudiadas de la riera Bartolí obtenidas a partir de GeoHMS. La cuenca de la izquierda e la cuenca pequeña y la cuenca de la derecha ha sido llamada cuenca grande

Una vez obtenidos todos los atributos esquematizados (Figura 32), pasamos a realizar el cálculo del caudal (m^3/s) superficial para las dos cuencas y la resta será el caudal superficial máximo que pasará por encima de la mina.

Para ello, utilizaremos el programa HEC-HMS, el cual está indicado para modelar los procesos hidrológicos más habituales que se dan en una cuenca.

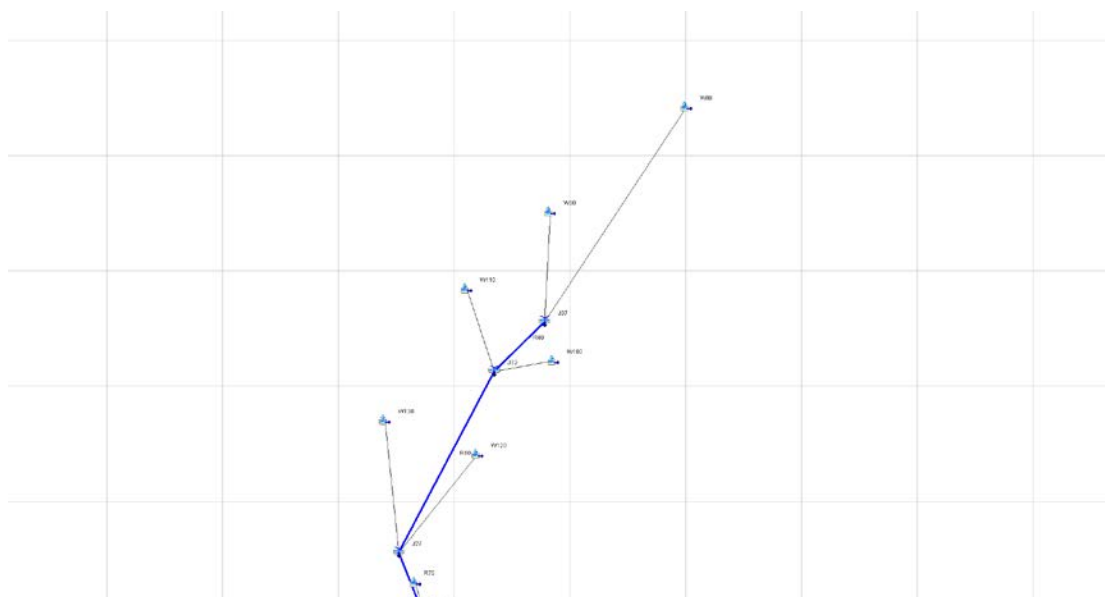


Figura 32. Esquema de modelo de cuenca en el programa HEC-HMS, en donde se puede observar cada cuenca (subbasin), confluencia (junction) y tramos de cauce (reaches) generados.

Para poder calcular dicho caudal, el programa HEC-HMS nos pide tres inputs que necesitamos calcular previamente, los 'inputs' son los siguientes:

- El número de curva, que según el uso del suelo tiene una capacidad para retener cierta cantidad de agua. Esta se extrae de la 'Guia tècnica, recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local', ver tabla en el **Anejo 12**, en función del uso del suelo, el tipo de suelo y la pendiente. En nuestro caso, será de 75.
- Precipitación, se necesita la precipitación local anual.
- El hietograma de la zona, gráfico que relaciona la lluvia con la duración de lluvia (mm/min).

Para el cálculo de la precipitación, se necesita los valores de precipitación mm de lluvia para cada día del año. La estación meteorológica más cercana no da la lluvia mensual, por lo que finalmente la precipitación ha sido calculada siguiendo los pasos del libro: 'Serie Monografías. Máximas lluvias diarias en la España Peninsular'. Los datos elegidos para nuestra zona de

Para el cálculo de la precipitación, se necesita los valores de precipitación mm de lluvia para cada día del año. La estación meteorológica más cercana no da la lluvia mensual, por lo que finalmente la precipitación ha sido calculada siguiendo los pasos del libro: 'Serie Monografías. Máximas lluvias diarias en la España Peninsular'. Los datos elegidos para nuestra zona de estudio se presentan en la Tabla 41. El cuantil local X_t representa la precipitación en mm de la zona de estudio.

En este caso, el periodo de retorno elegido, es decir, periodo que representa un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado, en este caso el valor de la precipitación calculada en un periodo determinado, en nuestro caso el período de tiempo elegido ha sido de 25 años, el cual se considera adecuado para este tipo de estudios.

Tabla 41. Tabla con con los datos utilizados para obtener el hietograma

Perodo retorno (años)	25
cv	0,46
Precipita (mm/día)	65
Cuantil Yt	1,96
Cuantil Local Xt	127,465
Tiempo de concentración (Tc) (h)	4

Una vez hallada la precipitación, utilizamos el programa del grupo de investigación FLUMEN, que calcula la distribución de lluvia o caudal por bloques alternados de diferentes períodos de retorno. Y así, obtener el hietograma (Figura 33).

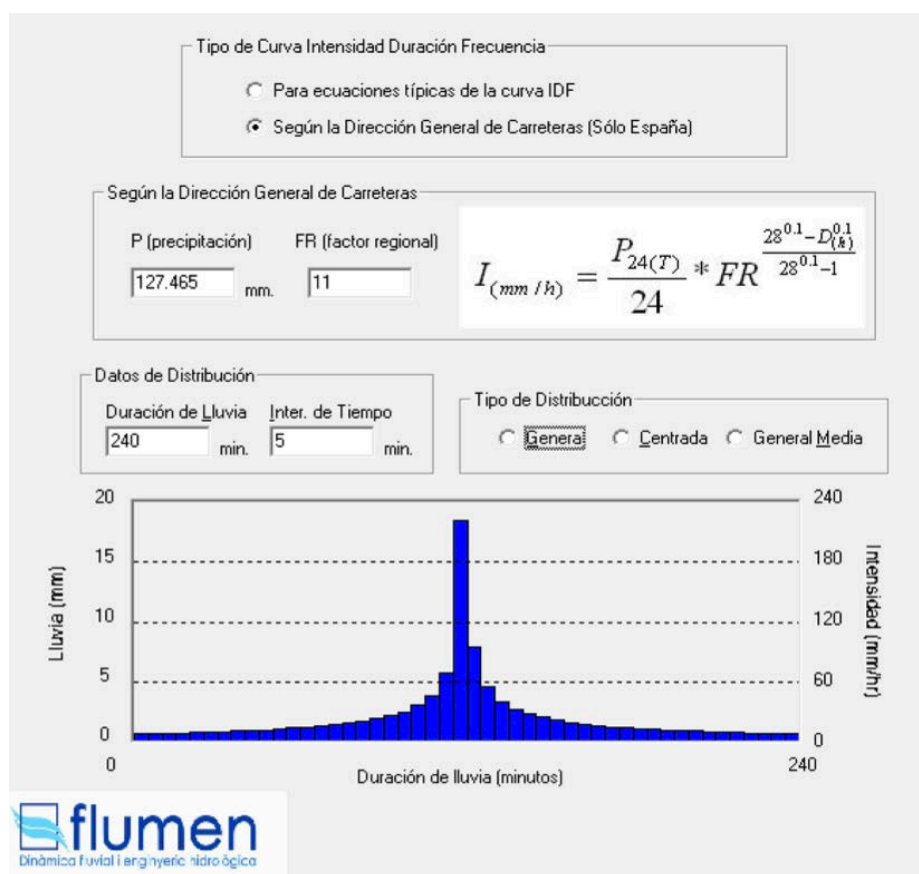


Figura 33. Hietograma obtenido con el programa del grupo de investigación FLUMEN.

Con todos los datos recopilados hasta ahora se puede proceder a calcular el tiempo de concentración de la cuenca (T_c), es decir, el tiempo necesario para que el caudal saliente se estabilice, cuando ocurra una precipitación con intensidad constante sobre toda la cuenta.

Existen tres formas de cálculo diferente para hallar el tiempo de concentración, aquí se hará por TEMEZ. Utilizando la siguiente expresión:

$$T_c = 0.3 \times \left[\left(\frac{L}{i^{1/4}} \right)^{0.76} \right]$$

Con un imprevisto del 0%, que viene siendo el de máxima seguridad y el tiempo de concentración se calcula el caudal máximo superficial para las dos cuencas llamadas cuenca pequeña y cuenca grande, la resta es el cabal máximo superficial para un número de curva de 75 (Figura 34).

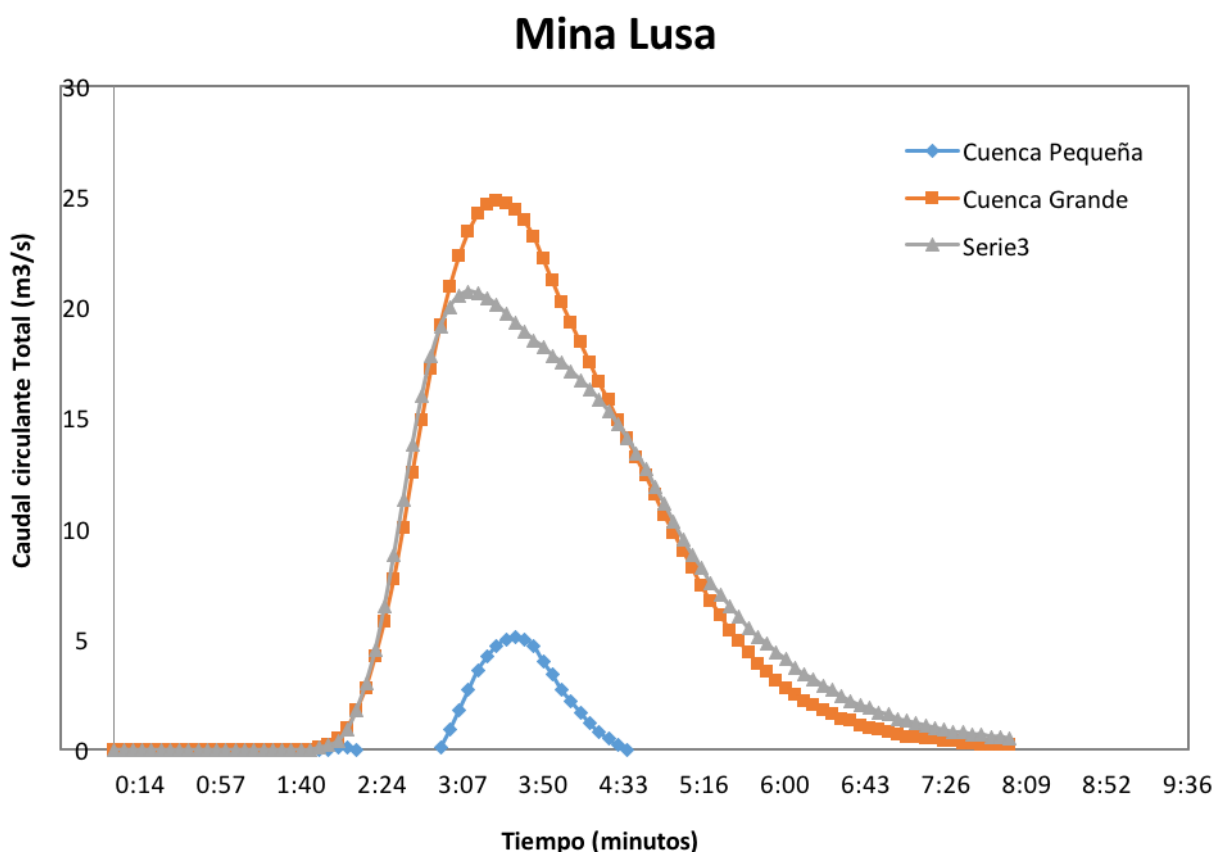


Figura 34. Gráfica tiempo de concentración total para curva de 75.

Observando la gráfica anterior, vemos que el caudal máximo superficial en un período de retorno de 25 años y para un número de curva=75 es de $5.1 \text{ m}^3/\text{s}$. Ahora bien, si queremos saber el caudal que se infiltra deberemos calcular el caudal circulante cuando el número de curva es igual a 100, es decir, cuando no se infiltra nada, y, por tanto, toda el agua que circula es superficial. Para ello, hemos vuelto a correr el programa HMS, las dos cuencas, pero ahora con un número de curva igual a 100. Los resultados se muestran en la Figura 35.

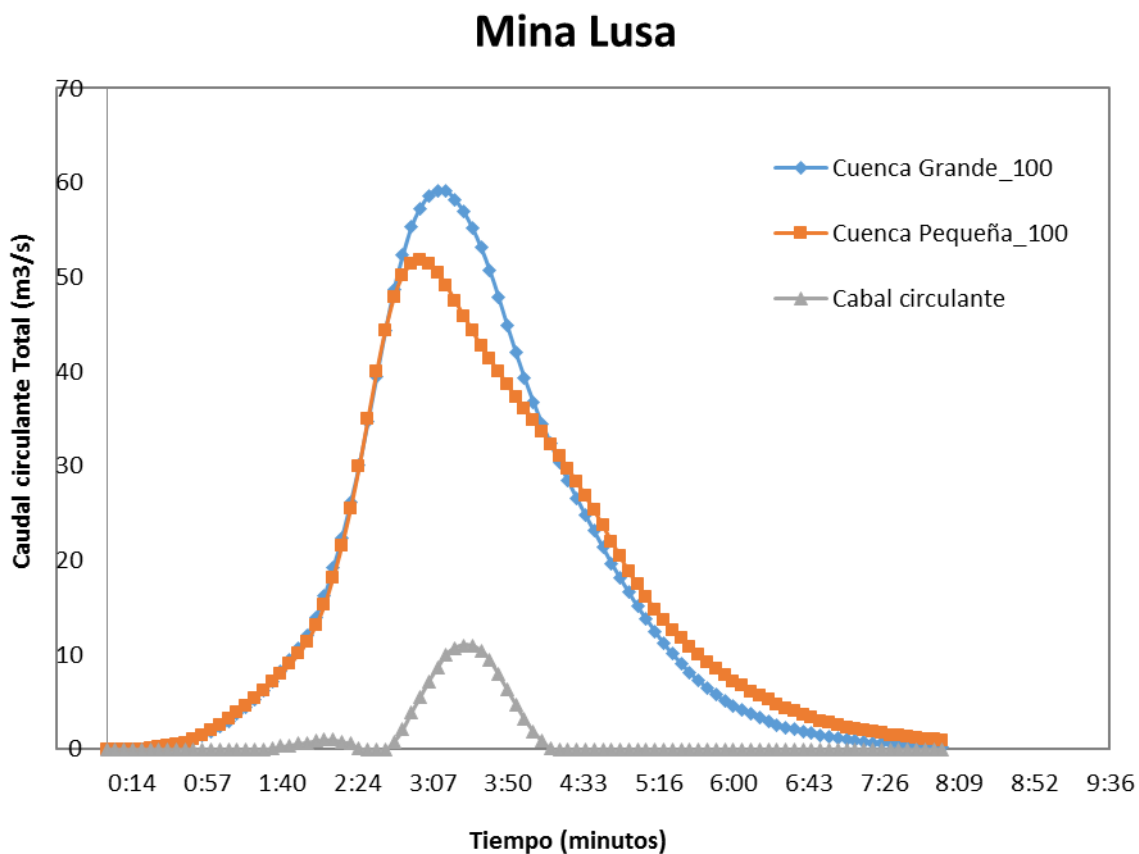


Figura 35. Gráfica tiempo de concentración total, para curva de 100.

La resta del cabal circulante para un número de curva igual a 100 y para un número de curva igual a 75, será el cabal máximo que se podrá infiltrar en la mina influenciada por las diaclasas existentes en las galerías de la mina. Este valor es de aproximadamente $5.9 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 36).

Lo que no sabemos toda esa agua que se infiltra a qué velocidad se infiltra, por lo tanto, el tiempo que tarda en filtrarse que es realmente importante, ya que no es lo mismo que se infiltre

de golpe que pasen años, para ello necesitaríamos utilizar el programa MODFLOW, en cual con los valores de permeabilidad del terreno tendríamos una idea del tiempo que tarda en infiltrarse

Lo que sí que sabemos, es que de ese caudal no se infiltrará todo, hay una parte que sirve para mojar el suelo, otra parte quedará retenida en forma de humedad en las plantas, otra que se irá para formar charcos en las depresiones del terreno y otra parte se infiltrará. Del total, aproximadamente el 60% del caudal total circulante es lo que puede filtrarse.

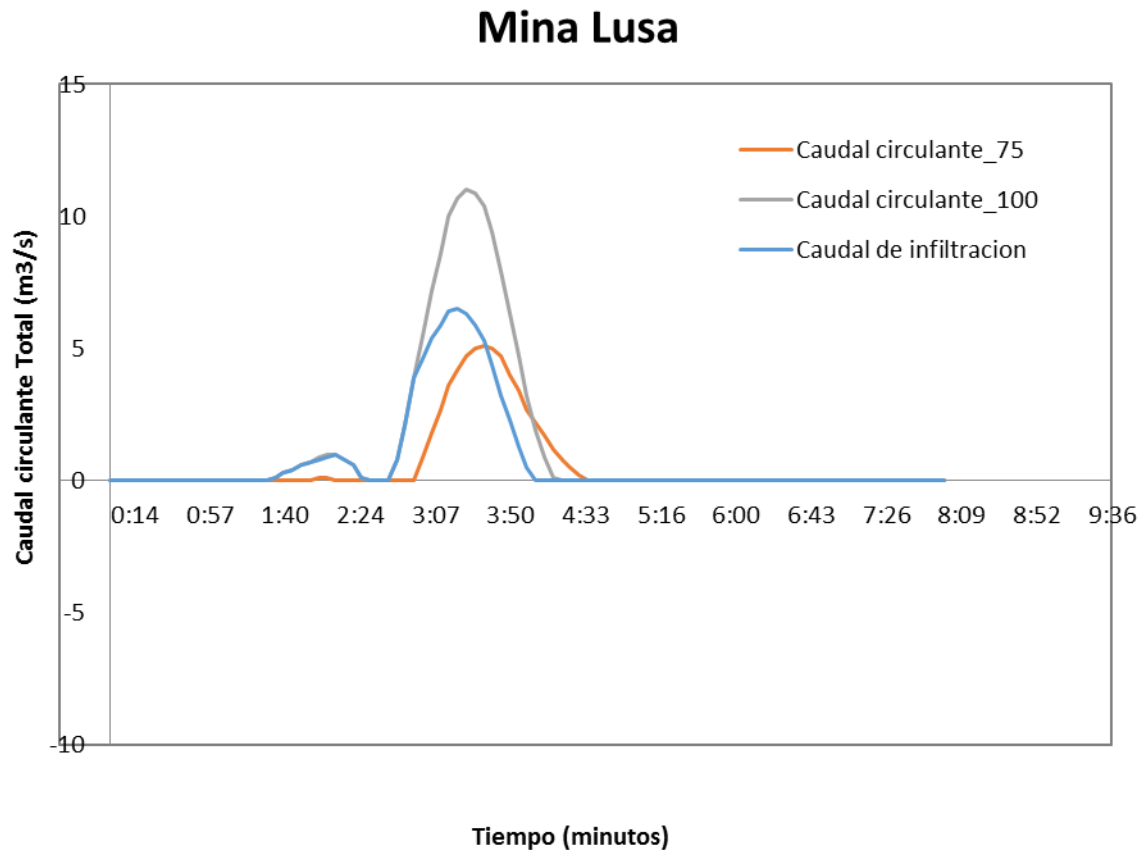


Figura 36. Gráfica tiempo de concentración total, para curva de 75, 100 e infiltraciones..

Así pues, una vez visto el cabal que puede infiltrarse para un periodo de retorno de 25 años y viendo que el caudal es considerable, y se habrán de hacer medidas de impermeabilización oportunas. Para la recomendación final de estas medidas se cree oportuno el cálculo de las infiltraciones totales mediante MODFLOW.

8. CONCLUSIONES

Ya realizados los estudios geotécnico e hidrológico, se observa que la primera planta de la mina Linda Mariquita presenta un total de unos 485m aproximadamente de galerías y se encuentra en una zona donde el macizo rocoso está formado principalmente de areniscas.

Para poder evaluar el estado de las galerías, estas se han dividido en diversas secciones representativas en forma de estaciones geomecánicas donde se han estimado diversos parámetros geotécnicos y geomecánicos como: la resistencia a la compresión simple, las características de las discontinuidades y el flujo de las aguas subterráneas. Con estos parámetros se ha realizado una evaluación del macizo rocoso y de la estabilidad de las galerías teniendo en cuenta las clasificaciones de Bieniawski y de Barton.

Así pues, el macizo rocoso donde se halla la mina se caracteriza por ser, en gran parte de las galerías, de Clase III y con una calidad media, exceptuando en un tramo puntual donde es de Clase IV y de calidad mala. Este último tramo abarca las estaciones geomecánicas 4,5,6,7 y 8 pertenecientes al perfil 2 donde también se sitúa la zona húmeda de la mina.

Aún con la existencia del tramo menos estable, se puede considerar que las galerías de la mina se encuentran en situación estable, aunque se considera oportuno algún sostenimiento básico puntual.

Para el análisis de la estabilidad de las galerías se ha empleado el programa Dips (Rocscience©) para el estudio de discontinuidades y el programa Unwedge (Rocscience©) para el estudio de movimiento de caída. Ambos han permitido comprobar que se forman pequeñas cuñas en las galerías, pero únicamente en el perfil 2 nos dan una cierta inestabilidad. Por tanto, se propone seguir las recomendaciones de sostenimientos de Bieniawski para la zona afectada.

Por último, con idea de conocer aún más el estado actual de las galerías se ha empleado el paquete RS2 obteniendo una convergencia mínima de la galería en la zona de estudio.

En el caso del estudio hidrológico, se caracterizado la cuenca de la zona de estudio mediante el programa GeoHMS y se ha calculado el caudal máximo superficial por encima de la zona húmeda de la mina y el caudal posible de infiltración para un período de retorno de 25 años con el programa HMS. Se ha visto que el caudal de infiltración puede ser importante y se considera

calcular bien estas infiltraciones con el programa MODFLOW, en futuros trabajos que permitan definir unas medidas de impermeabilización adecuadas.

Por tanto, desde un punto geotécnico e hidrológico es viable su apertura al público. De todos modos, se recomienda que en caso de hacerlas visitables se realizaran trabajos puntales de sostenimiento en forma de bulones y mallado. También se recomienda la retirada de sedimentos y escombros y las de impermeabilización calculando las infiltraciones a partir del programa MODFLOW. Así como anular la accesibilidad a las zonas con pozos de ventilación dada la elevada peligrosidad existente o bien realizando las actuaciones previas pertinentes para asegurar su acceso.

9. BIBLIOGRAFÍA

WEBS

- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Disponible en: www.igcg.cat
Última consulta: octubre 2018.
- Diputació de Tarragona. Disponible en: www.diputaciódetarragona.cat
Última consulta: Julio 2018.
- Wikipedia. Disponible en: www.wikipedia.org
Última consulta: septiembre 2018.
- Rafel, Montero, Soriano, Hunt y Armada, 2014. Nuevos datos sobre la minería pre y protohistórica en Cataluña. Disponible en:
<https://www.raco.cat/index.php/CuadernosArqueologia/article/viewFile/303286/392936>
Última consulta: Julio 2018.
- Rafel, N. 2012. La cuenca minera del baix priorat (Tarragona): explotación y distribución en época colonial. Recursos locales versus recursos alóctonos. Disponible en:
<https://www.raco.cat/index.php/CuadernosArqueologia/article/viewFile/303286/392936>
Última consulta: Julio 2018.
- Rocscience. Disponible en: www.rocscience.com
Última consulta: octubre 2018.
- Meteocat. Disponible en: www.icc.es www.meteocat.com
Última consulta: septiembre 2018.
- Àgencia catalana de l'aigua. Disponible en : www.aca-web.gencat.cat
Última consulta: septiembre 2018.
- Hydrologic Engineering Center. Disponible en: www.hec.usace.army.mil/
Última consulta: septiembre 2018.


LIBROS

- Vallejo, L.I. et al. (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Educación, Madrid.
- Abella, J. et al. (2008). Minerales i Mines de la conca de Bellmunt del priorat. Fons Mineralògic de Catalunya.
- Agència catalana de l'Aigua, 2003. Guia tècnica. Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local.

- Ministerio de fomento, 1999. Serie monografías. Máximas lluvias diarias en la España peninsular.
- Tutorial ROCSCIENCE
- Ayora, C. et al., 1990. Chemical Geology, Issues
- Chow V. T. (1994). Hidrologia aplicada. McGraw-Hill, 1994
- "HECHMS USER MANUAL" –US army corps of engineers-hydrologic engineering center. "Soil Erosion and Sediment Yield Modeling with the Hydrologic Modeling System (HECHMS)" By Jang Pak¹, Matt Fleming¹, William Scharffenberg¹, and Paul Ely.
- "Manual ARCGIS" - Sistemes d' Informació Geogràfica. Departament d' Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica, Universitat Politècnica de Catalunya

DOCUMENTO 2. ANEJOS

ANEJO 1. Ensayos en laboratorio.



Consultoria del terreny i de l'aigua
C/Marça de dalt, 18
43746 Tivissa (Tarragona)

Inscrit amb el n°: 5424
Puede consultar la validez del documento accediendo a <http://icog.geosud.net/csw/GR400004367>

N° ACTA	ANY	DATA
147	2017	26/07/2017

LIMITS D'ATTERBERG
SEGONS UNE 103, 103/94-UNE 103,104

Límit líquid	--
Límit plàstic	--
Index de plasticitat	No plàstic

CONTINGUT SULFATS SOLUBLES
SEGONS UNE 103, 201:1996

Contingut en sulfats Solubles (mg/kg)	< 200
---------------------------------------	-----------------

REFERÈNCIA MOSTRA

Edificis mina Linda Mariquita - El Molar - S-1 a -7.0 m
--

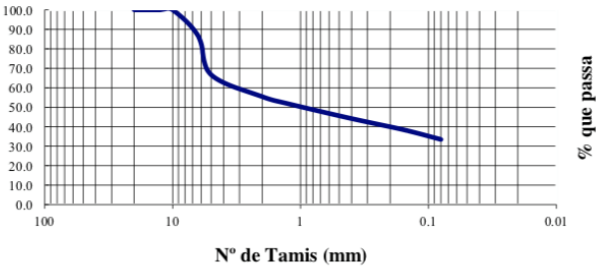
HUMITAT DEL TERRENY
SEGONS UNE 103-300-93

Grau d'humitat (%)	
--------------------	--

ANÀLISIS GRANULOMÈTRIC PER TAMIZAT
SEGONS UNE 103, 101/95

Tamís (mm)	Passa (%)
20	100.0
12.5	100.0
10	100.0
6.3	86.5
5	66.7
2	55.5
1.25	51.8
0.4	44.2
0.16	38.6
0.08	33.5

CORBA GRANULOMÈTRICA




CLASSIFICACIÓ SEGONS USCS **SW - SM**

PH IN SITU (procediment intern)

HUMITAT IN SITU (procediment intern)

Observacions:

Responsable de l'assaig



Joaquim Roset Piñol
N° col.legiat: 5424



Consultoria del terreny i de l'aigua

C/Marça de dalt, 18

43746 Tivissa (Tarragona)

Inscrit amb el n°: 5424

Puede consultar la validez del documento accediendo

a <http://icog.e-cv.es/bo/ne/csv/IFGR40-DAE-67>

Nº ACTA	ANY	DATA
148	2017	26/07/2017

LIMITS D'ATTERBERG SEGONS UNE 103, 103/94-UNE 103,104	
Límit líquid	33.3
Límit plàstic	24.6
Index de plasticitat	8.7

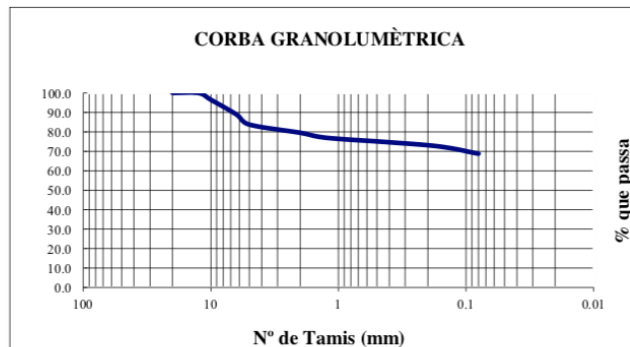
REFERÈNCIA MOSTRA
Edificis mina Linda Mariquita - El Molar -
S-2 a -1.2 m

CONTINGUT SULFATS SOLUBLES SEGONS UNE 103, 201:1996	
Contingut en sulfats	
Solubles (mg/kg)	< 200

HUMITAT DEL TERRENY SEGONS UNE 103-300-93	
Grau d'humitat (%)	

ANÀLISIS GRANULOMÈTRIC PER TAMIZAT SEGONS UNE 103, 101/95

Tamís (mm)	Passa (%)
20	100.0
12.5	100.0
10	96.5
6.3	88.9
5	83.7
2	79.5
1.25	76.9
0.4	74.6
0.16	72.4
0.08	68.7



CLASSIFICACIÓ SEGONS USCS	CL - SC
---------------------------	---------

PH IN SITU (procediment intern)	
---------------------------------	--

HUMITAT IN SITU (procediment intern)	
--------------------------------------	--

Observacions:

Responsable de l'assaig

Joaquim Roset Piñol
Nº col·legiat: 5424



Consultoria del terreny i de l'aigua
C/Marça de dalt, 18
43746 Tivissa (Tarragona)

Nº ACTA	ANY	DATA
149	2017	26/07/2017

LIMITS D'ATTERBERG SEGONS UNE 103, 103/94-UNE 103,104	
Límit líquid	--
Límit plàstic	--
Índex de plasticitat	No plàstic

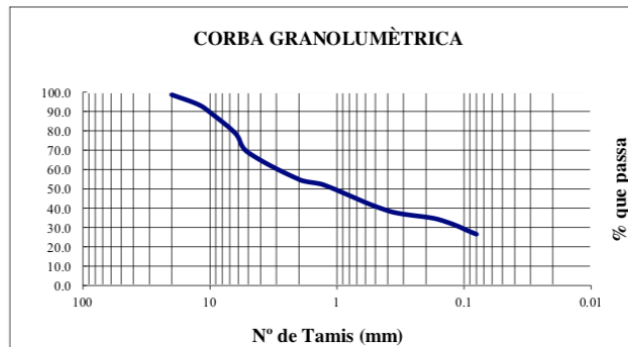
REFERÈNCIA MOSTRA
Edificis mina Linda Mariquita - El Molar -
S-3 a -5.0 m

CONTINGUT SULFATS SOLUBLES SEGONS UNE 103, 201:1996	
Contingut en sulfats	
Solubles (mg/kg)	< 200

HUMITAT DEL TERRENY SEGONS UNE 103-300-93	
Grau d'humitat (%)	

**ANÀLISIS GRANULOMÈTRIC PER TAMIZAT
SEGONS UNE 103, 101/95**

Tamís (mm)	Passa (%)
20	98.6
12.5	93.7
10	89.5
6.3	78.6
5	68.7
2	54.9
1.25	51.8
0.4	38.7
0.16	34.2
0.08	26.5



CLASSIFICACIÓ SEGONS USCS SW - SM

PH IN SITU (procediment intern)

HUMITAT IN SITU (procediment intern)

Observacions:

Responsable de l'assaig

Joaquim Roset Piñol
Nº col·legiat: 5424



Consultoria del terreny i de l'aigua

C/Marça de dalt, 18

43746 Tivissa (Tarragona)

<small>Col·legiat - Joaquim Roset Piñol</small> <small>Inscrit amb el n° : 5424</small> <small>Puede consultar la validez del documento accediendo a http://icog.e43510.net/csv/GR400331E067</small>		
Nº ACTA	ANY	DATA
150	2017	26/07/2017

LIMITS D'ATTERBERG SEGONS UNE 103, 103/94-UNE 103,104	
Límit líquid	43.5
Límit plàstic	23.8
Index de plasticitat	19.7

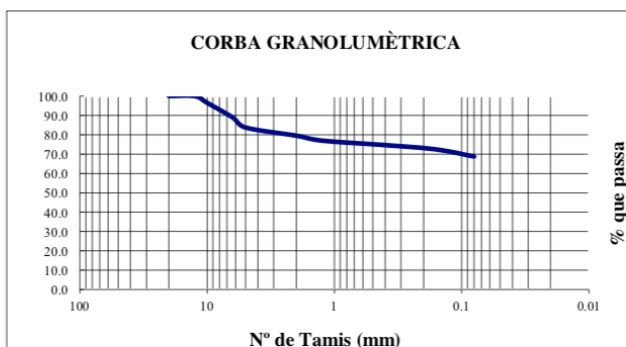
REFERÈNCIA MOSTRA
Edificis mina Linda Mariquita - El Molar -
S-4 a -2.0 m

CONTINGUT SULFATS SOLUBLES SEGONS UNE 103, 201:1996
Contingut en sulfats
Solubles (mg/kg)

HUMITAT DEL TERRENY SEGONS UNE 103-300-93
Grau d'humitat (%)

ANÀLISIS GRANULOMÈTRIC PER TAMIZAT SEGONS UNE 103, 101/95

Tamís (mm)	Passa (%)
20	100.0
12.5	100.0
10	96.5
6.3	88.9
5	83.7
2	79.5
1.25	76.9
0.4	74.6
0.16	72.4
0.08	68.7



CLASSIFICACIÓ SEGONS USCS	CL - SC
----------------------------------	----------------

PH IN SITU (procediment intern)	
--	--



HUMITAT IN SITU (procediment intern)	
---	--




Observacions:

Responsable de l'assaig

Joaquim Roset Piñol
Nº col·legiat: 5424

ANEJO 2. Columnas estratigráficas

CONSULTORIA DEL TERRENY I DE L'AIGUA		C/MARÇA DE DALT, 18		43746 TIVISSA (TARRAGONA)		 IL·LUSTRE COL·LEGI OFICIAL DE GEÒLEGS INFORME SUPERVISAT ESTUDI I PROJECTE SUPERVISAT AMB ASSEGURANÇA DE RESPONSABILITAT CIVIL							
Comitente Ajuntament del Molar		Obra Edifici mina Linda Mariquita - El Molar -		Investigación Sondag		Data : 09/08/2017 Fol: 5170554R0 Núm: SV-05170554/00 Col·legiat : Joaquim Roset Piñol							
Inicio Ejecución 12/07/17		Responsable Joaquim Roset		Operador Poo Javier López		Profundidad Alcanzada 9.0							
Inscripció amb el nº: 5424 Puede consultarse la validez del documento accediendo a http://icog-e-valado.net/casv/FG40GBQH3357		El secretari 											
Escala	Litologia	Descripción	Cota	%Sondeo R.Q.D.	S.P.T.	Product Test KN/cm²	Vane Test KN/cm²	Muestras	Diám. Foro (mm)	Método perforación	Método estabilización	Nivel freático	Piezómetro
1		Reblerts granulars compactes	0.60										
2		Reblerts de grava, blocs i sorres poc compactes											
3													
4		Reblerts de blocs, grava i sorres poc compactes	1.20										
5													
6													
7		Sorres mitjanes i/o sauló amb matriu llimosa i argilosa. Color marró clar	5.80		55 7.00 PA								
8					Rebuig 8.40 PA								
			9.00						Ø 86 mm	(CS)			
									9.00	9.00			
Muestras: S-Paredes finas, O-Osterberg, M-Mazet, A-Alternado, As-Alternado por SPT Piezómetro: ATA-Tubo Abierto, CSG-Casagrande Perforación: B-Batería Simple, T-Batería Doble, BH-Batería Helicoidal Estabilización: RVT-Revestimiento metálico, L-Lodos Pruebas: SPT-PA-Punta abierta, PC-Punta cerrada													
L'Enginyer geòleg col.5424 Joaquim Roset Piñol													





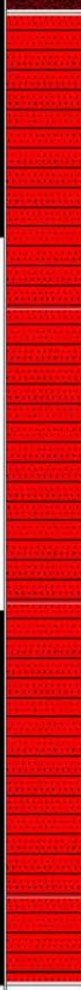
		CONSULTORIA DEL TERRENY I DE L'AIGUA C/MARÇA DE DALI, 18 43746 TIVISSA (TARRAGONA)				 IL·LUSTRE COL·LEGI OFICIAL DE GEÒLEGS INFORME SUPERVISAT ESTUDI I PROJECTE SUPERVISAT AMB ASSEGURANÇA DE RESPONSABILITAT CIVIL Data : 09/08/2017 Fol: 5170554R0 Núm: SV-05170554/00 Col·legiat : Joaquim Roset Piñol Inscrit amb el nº : 5424 Puede consultarse la validez del documento accediendo a http://icoge-visitado.net/csv/FGR40G8QH3357							
Comitente Ajuntament del Molar		Obra Edifici mina Linda Mariquita - El Molar -		Investigación Sondeig		Profundidad Alcanzada 3.60		El secretari 					
Inicio Ejecución 12/07/17		Responsable Joaquim Roset		Operador Foo Javier López									
Escala	Litología	Descripción	Cota	%Sondeo R.Q.D.	S.P.T.	Probet Test KN/cm²	Vare Test KN/cm²	Muestras	Diám. Foro (mm)	Método perforación	Método estabilización	Nivel freático	Piezómetro
1		Mescla de reberts i sòl edàfic	0.30										
2		Argiles rogenques i gresos			32 1.20 PA								
					55 3.00 PA				86 mm	(CS)			
			3.60						3.00	3.00			
Muestras: S-Paredes finas, O-Osterberg, M-Macier, A-Alterado, As-Alterado por SPT Piezómetro: ATA-Tubo Abierto, CSG-Casagrande Perforación: B-Batería Simple, T-Batería Doble, BH-Batería Helicoidal Estabilización: V-Revestimiento metálico, L-Lodos Pruebas SPT: PA-Punta abierta, PC-Punta cerrada													
L'Enginyer geòleg col. 5424 Joaquim Roset Piñol													

CONSULTORIA DEL TERRENY I DE L'AIGUA				IL·LUSTRE COL·LEGI OFICIAL DE GEÒLEGS INFORME SUPERVISAT ESTUDI I PROJECTE SUPERVISAT AMB ASSEGURANÇA DE RESPONSABILITAT CIVIL									
C/MARÇA DE DALT, 18 43746 TIVISSA (TARRAGONA)				Data : 09/08/2017 Fol: 517054R0 Núm: SV-05170554/00 Col·legiat : Joaquim Roset Piñol Inscrit amb el nº 5424 Puede consultar la validez del documento accediendo a http://icoge-ivariado.net/csv/FGR40G8QH3357									
Comitent Ajuntament del Molar		Obra Edifici mina Linda Marqueta - El Molar -		Investigación Sondeo		Inscripció amb el nº 5424 Puede consultar la validez del documento accediendo a http://icoge-ivariado.net/csv/FGR40G8QH3357							
Inicio Ejecución 14/07/17		Responsable Joaquim Roset		Operador Fco Javier López		Profundidad Alcanzada 6.00 El secretari							
Escala	Litología	Descripción	Cota	%Sondeo R.Q.D.	S.P.T.	Probet Test kgN/cmq	Vane Test kgN/cmq	Muestras	Diam. Furo (mm)	Método perforación	Método estabilización	Nivel freático	Piezómetro
		Reblerts granulars compactes	0.60										
-1		Reblerts de grava, blocs i sorres poc compactes											
-2													
-3													
-4		Sorres mitjanes i/o sauló amb matriu limosa i argilosa. Color marró clar	4.00										
-5					33 5.00 PA								
			6.00						(86 mm) 6.00	(CS) -6.00			

Mastran: S-Paredes finas, O-Osterberg, M-Maxier, A-Alterado, As-Alterado por SPT
 Piezómetro: ATA-Tubo Abierto, CSG-Casagrande
 Perforación:B-Batería Simple, T-Batería Doble, BH-Barrena Helicoidal
 Estabilización:RV-T-Revestimiento metálico, L-Lodos
 Pruebas: SPT-PA-Punta abierta, PC-Punta cerrada

L'Enginyer geòleg col.5424

Joaquim Roset Piñol

		CONSULTORIA DEL TERRENY I DE L'AIGUA C/MARÇA DE DALI, 18 43746 TIVISSA (TARRAGONA)				 IL·LUSTRE COL·LEGI OFICIAL DE GEÒLEGS INFORME SUPERVISAT ESTUDI I PROJECTE SUPERVISAT AMB ASSEGURANÇA DE RESPONSABILITAT CIVIL Data : 09/08/2017 Fol: 5170554R0 Num: SV-05170554/00 Col·legiat : Joaquim Roset Piñol Inscriu amb el nº: 5424 Puede consultar la validad del documento accediendo a http://colge-ivillado.net/csv/FGRA40G8QH3357									
Comitent Ajuntament del Molar		Obra Edifici mina Linda Mariquita - El Molar -		Investigación Sondeig		Responsable Joaquim Roset		Operador Fco Javier López		Profundidad Alcanzada 3 m		El secretari 			
Inicio Ejecución 14/07/17															
Escala	Litología	Descripción	Cota	%Sondeo R.Q.D.	S.P.T.	Pocket Test (N)/cmq	Vane Test (N)/cmq	Muestras	Diám. Foro (mm)	Método perforación	Método estabilización	Nivel freático	Piezómetro		
1		Mescla de reberts i sòl edífic	0.40												
		Argiles rogenques i gresos			35 1.20 PA										
2															
					Rebuig 2.40 PA										
			3.00						(86 mm) 3.00	(CS) 3.00					
Muestras: S-Paredes finas, O-Osterberg, M-Mader, A-Alternado, As-Alternado por SPT Piezómetro: ATA-Tubo Abierto, CSG-Casagrande Perforación: B-Batería Simple, T-Batería Doble, BH-Barrera Helicoidal Estabilización: RVT-Revestimiento metálico, L-Lodos Pruebas SPT: PA-Punta abierta, PC-Punta cerrada															
L'Enginyer geòleg col.5424 Joaquim Roset Piñol															

ANEJO 3. Ensayo DPSH

GEO SUD
C/Barça de dalt, 18
43746 TIVISSA (TARRAGONA)
www.geosud.es

ENSAYO PENETROMÉTRICO DINÁMICO DPSH-1.
Equipo utilizado... DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)

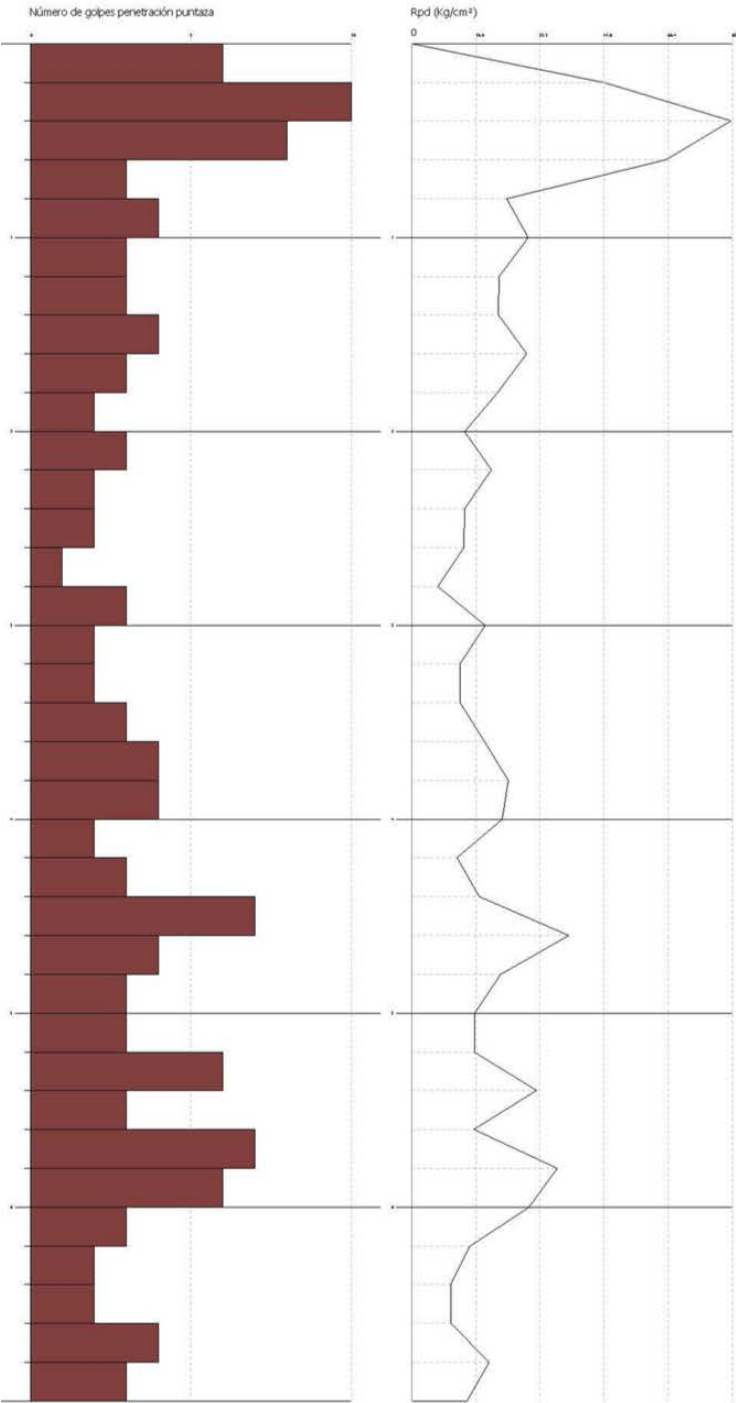
Cliente: Ajuntament del Molar
Obra: Edifici Mina Linda Mariquita
Localidad: El Molar



IL·LUSTRE COL·LEGI OFICIAL DE GEÒLEGS
INFORME SUPERVISAT
ESTUDI I PROJECTE SUPERVISAT
AMB ASSEGURANÇA DE RESPONSABILITAT CIVIL

Data : 09/08/2017 Foli: 5170554RD Núm: SV-05170554/00
Col·legiat : Joaquim Roset Piñol
Inscrit amb data 5/26/2017
Puede consultar la validez del documento accediendo
a <http://coog.e-visado.net/cav/FGR40GBQH33S7>
Escala 1:31
El secretari

Interpretación Estratigráfica



1	60 cm	Reblerts granulars mitjanament compactats
		Reblerts granulars sense compactar
2	640 cm	

GEOSUD
C/Marça de dalt, 18
43746 TIVISSA (TARRAGONA)
www.geosud.es

ENSAYO PENETROMÉTRICO DINÁMICO DFPH-2
Equipo utilizado... DFPH (Dynamic Probing Super Heavy)

Cliente: Ajuntament del Molar
Obra: Edifici Mina Linda Mariquita
Localidad: El Molar



IL·LUSTRE COL·LEGI OFICIAL DE GEÒLEGS

INFORME SUPERVISAT

ESTUDI I PROJECTE SUPERVISAT

AMB ASSEGURANÇA DE RESPONSABILITAT CIVIL

Data : 09/08/2017 Foli: 5170554R0 Núm: SV-05170554/00

Col·legiat : Joaquim Roset Piñol

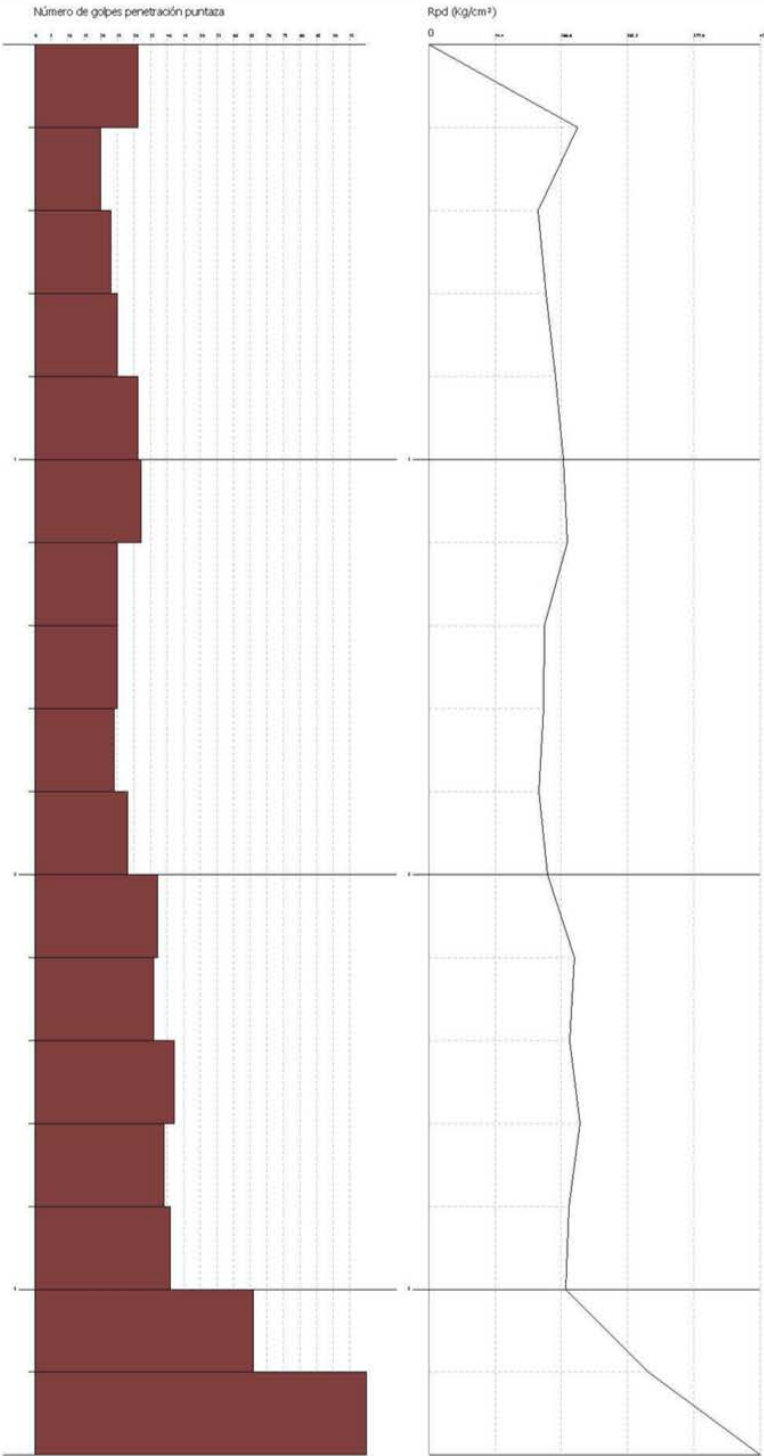
Inscrit amb el nº 5426/7/2017

Puede consultar la validez del documento accediendo a <http://coig.e-visado.net/csw/FGR40G8QH3357>

Interpretación Estratigráfica

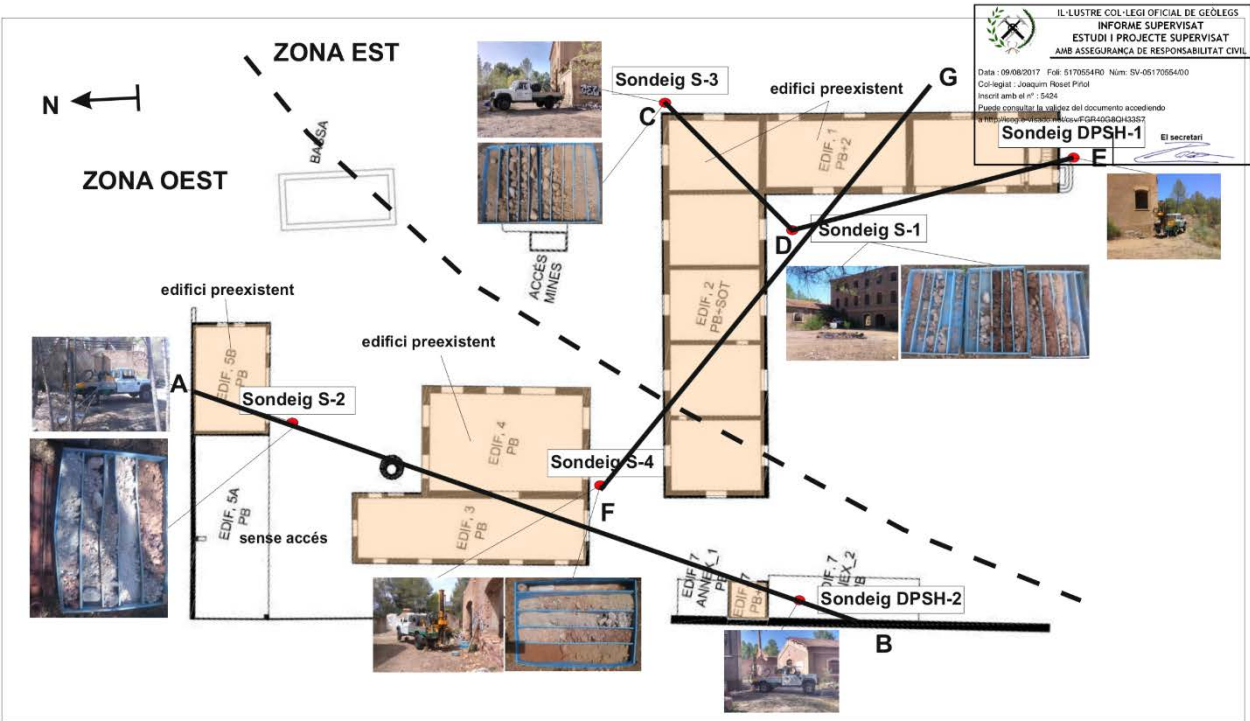
Escala 1:15

El secretari



1	20 cm	Reblerts
2	280 cm	Argiles
3	40 cm	Gresos

ANEJO 4. Croquis de situación sondeos.



ANEJO 5. Tabla del sistema de clasificación USCS.

SISTEMA CLASIFICACION USCS						
GRUESOS (< 50 % pasa 0.08 mm)						
Tipo de Suelo	Símbolo	% pasa 5 mm.***	% pasa 0.08 mm.	CU	CC	** IP
Gravas	GW	< 50	< 5	> 4	1 a 3	
	GP			≤ 6	<1ó>3	
	GM		> 12			< 0.73 (wl-20) ó <4
	GC					> 0.73 (wl-20) ó >7
Arenas	SW	> 50	< 5	> 6	1 a 3	
	SP			≤ 6	<1ó>3	
	SM		> 12			< 0.73 (wl-20) ó <4
	SC					> 0.73 (wl-20) y >7
* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM,SW-SM, SP-SC.						
*** respecto a la fracción retenida en el tamiz 0.080 mm						
** Si IP≅ 0.73 (wl-20) ó si IP entre 4 y 7 e IP>0.73 (wl-20), usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.						
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.						
$C_U = (D_{60}) / (D_{10})$				$C_C = (D_{30}^2) / (D_{60} \cdot D_{10})$		

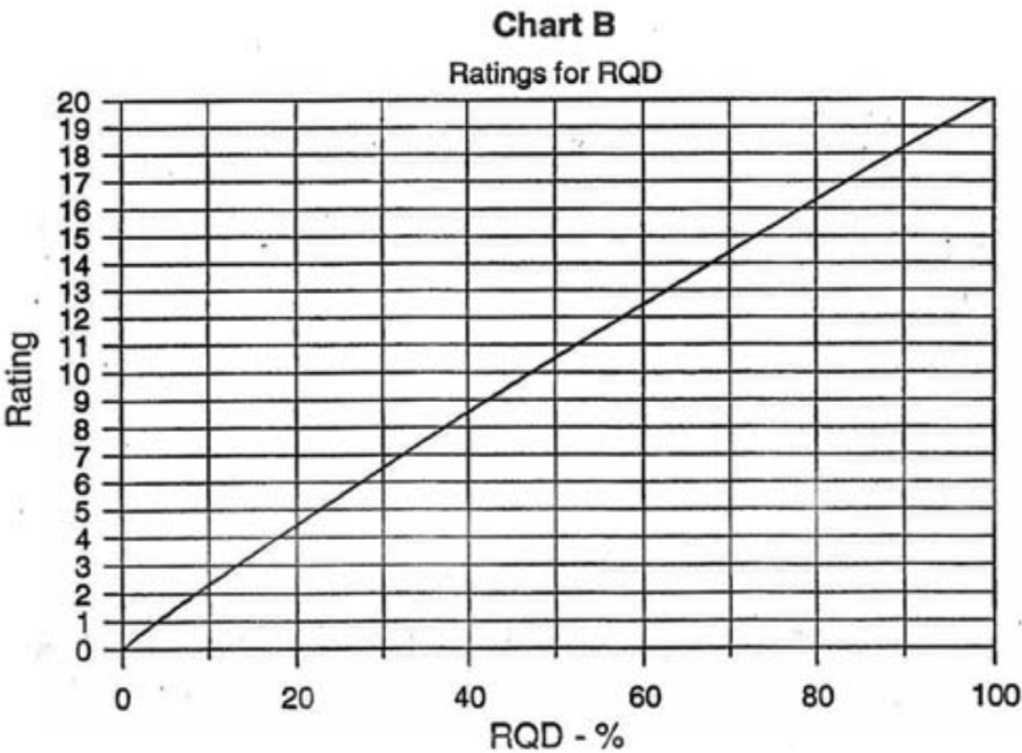
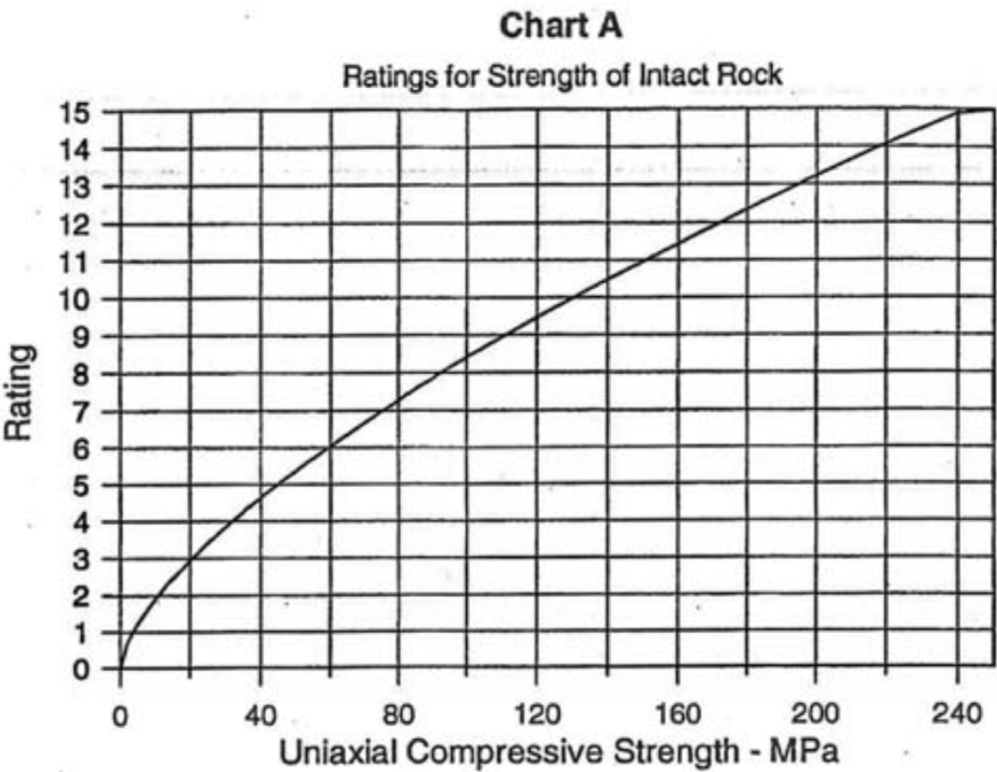
ANEJO 6. Tabla y gráficas de Bieniawski

RMR Bieniawski

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter			Range of values						
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial comp. strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Rating		15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core Quality RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		> 2 m	0.6 - 2 . m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities (See E)		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(Joint water press)/ (Major principal σ)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)									
Strike and dip orientations			Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable		
Ratings	Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12			
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25			
	Slopes	0	-5	-25	-50				
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS									
Rating			100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21		
Class number			I	II	III	IV	V		
Description			Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock		
D. MEANING OF ROCK CLASSES									
Class number			I	II	III	IV	V		
Average stand-up time			20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span		
Cohesion of rock mass (kPa)			> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100		
Friction angle of rock mass (deg)			> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15		
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions									
Discontinuity length (persistence)			< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
Rating			6	4	2	1	0		
Separation (aperture)			None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
Rating			6	5	4	1	0		
Roughness			Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided		
Rating			6	5	3	1	0		
Infilling (gouge)			None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm		
Rating			6	4	2	2	0		
Weathering			Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed		
Ratings			6	5	3	1	0		
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**									
Strike perpendicular to tunnel axis				Strike parallel to tunnel axis					
Drive with dip - Dip 45 - 90°		Drive with dip - Dip 20 - 45°		Dip 45 - 90°			Dip 20 - 45°		
Very favourable		Favourable		Very unfavourable			Fair		
Drive against dip - Dip 45-90°		Drive against dip - Dip 20-45°		Dip 0-20 - Irrespective of strike°					
Fair		Unfavourable		Fair					

* Some conditions are mutually exclusive. For example, if infilling is present, the roughness of the surface will be overshadowed by the influence of the gouge. In such cases use A.4 directly.

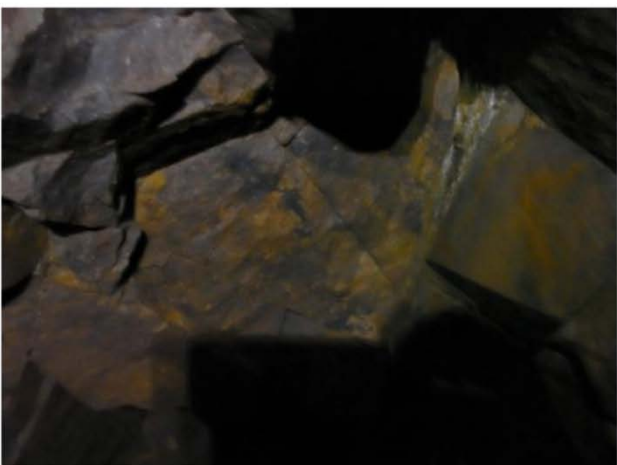
** Modified after Wickham et al (1972).



ANEJO 7. Ensayos a compresión simple in situ



ANEJO 8. Discontinuidades en interior mina



ANEJO 9. Zona donde aparece humedad



ANEJO 10. Tabla estimación parámetro del Índice Q

En la Tabla 4 se reflejan los criterios de valoración de estos parámetros. El índice Q varía entre 0,001 y 1,000. Este intervalo se ha dividido en 9 tramos que dan lugar a la siguiente clasificación cualitativa:

Entre 0,001 y 0,01 :	Roca excepcionalmente mala
Entre 0,01 y 0,1 :	Roca extremadamente mala
Entre 0,1 y 1 :	Roca muy mala
Entre 1 y 4 :	Roca mala
Entre 4 y 10 :	Roca media
Entre 10 y 40 :	Roca buena
Entre 40 y 100 :	Roca muy buena
Entre 100 y 400 :	Roca extremadamente buena
Entre 400 y 1000 :	Roca excepcionalmente buena

TABLA 4. Estimación de parámetros que intervienen en el índice Q (simplificado de Barton et al., 1974).

ÍNDICE DE DIACLASADO J_d (*)	VALOR	ÍNDICE DE RUGOSIDAD J_r	VALOR
Roca masiva	0.5- 1,0	Diclasas rellenas	1
Una familia de diaclasas	2	Diclasas limpias (*)	
Id. con otras diaclasas ocasionales	3	- Discontinuas	4
Dos familias de diaclasas	4	- Onduladas, rugosas	3
Id. con otras diaclasas ocasionales	6	- Onduladas, lisas	2
Tres familias de diaclasas	9	- Planas, rugosas	1,5
Id. con otras diaclasas ocasionales	12	- Planas, lisas	1,0
Cuatro o más familias, roca muy fracturada	15	Lisos o espejos de fallas	
Roca triturada	20	- Ondulados	1,5
		- Planos	0,5
(*) En boquillas 2 x J_d .		(*) O cuyas caras entran en contacto bajo la sollicitación	

ÍNDICE DE ALTERACIÓN J_a	VALOR	COEFICIENTE REDUCTOR POR LA PRESENCIA DE AGUA J_w	VALOR	PRESIÓN DE AGUA (kg/cm ²)
Diclasas de paredes sanas	0,75 - 1	Excavaciones secas o con < 5 l/min localmente	1	< 1
Ligera alteración	2,0	Afluencia media con lavado de algunas diaclasas	0,66	1 - 2,5
Alteraciones arcillosas	4,0	Afluencia importante por diaclasas limpias	0,5	2,5 - 10
Con detritus arenosos	4,0	Idem con lavado de diaclasas	0,33	2,5 - 10
Con detritus arcillosos preconsolidados	6,0	Afluencia excepcional inicial, decreciente con el tiempo	0,2 - 0,1	> 10
Id. poco consolidados	8,0	Idem mantenida	10,1 - 0,05	> 10
Id. expansivos	8 - 12			
Milonitos de roca y arcilla	6 - 12			
Milonitos de arcilla lisa	5			
Milonitos arcillosos-gruesos	10 - 20			

PARÁMETRO SRF	VALOR
Zonas débiles :	
Multitud de zonas débiles o milonitos	10,0
Zonas débiles aisladas, con arcilla o roca descompuesta (cobertura ≤ 50 m)	5,0
Idem con cobertura > 50 m	2,5
Abundantes zonas débiles en roca competente	7,5
Zonas débiles aisladas en roca competente (cobertura < 50 m)	5,0
Idem con cobertura > 50 m	2,5
Terreno en bloques muy fracturado	5,0
Roca competente :	
Pequeña cobertura	2,5
Cobertura media	1,0
Gran cobertura	0,5 - 2,0
Terreno expansivo :	
Con presión de hinchamiento moderada	5 - 10
Con presión de hinchamiento alta	10 - 15

ANEJO 11. Tabla de recomendaciones de sostenimiento

CLASE	RMR	EXCAVACIÓN (PASE)	SOSTENIMIENTO		
			BULONES (Longitud en m)	HORMIGÓN PROYECTADO	CERCHAS METÁLICAS
I Muy buena	81-100	Sección completa (3 m)	Ocasionalmente	No necesario	No necesarias
II Buena	61-80	Sección completa (1-1.5 m). Sostenimiento terminado a 20 m del avance	Localmente en clave. L = 3 m. Espaciados a 2.5 m con mallazo ocasional	50 mm en clave donde sea necesario	No necesarias
III Media	41-60	Avance y destroza (1.5-3 m en avance) Sostenimiento empezado en el frente y terminado a 10 m del frente	Sistemáticamente en clave y hastial. L = 4 m. Espaciados 1.5 a 2.0 m. Mallazo en clave.	50-100 mm en clave. 30 mm en hastiales.	No necesarias
IV Mala	21-40	Avance y destroza (1.0-1.5 m en avance) Sostenimiento empezado simultáneamente con la excavación y hasta 10 m del frente	Sistemáticamente en clave y hastiales. L = 4 a 5 m. Espaciados a 1.0-1.5 m. Con mallazo.	100-150 mm en clave. 100 mm en hastiales.	Ligeras a medias, espaciadas a 1.5 m donde sea necesario
V Muy mala	1-20	Galerías múltiples. (0.5-1.5 m en avance) Sostenimiento simultáneo con la excavación. Hormigón proyectado inmediatamente después de la voladura.	Sistemáticamente en clave y hastiales. L = 5-6 m. Espaciados a 1.0-1.5 m. Con mallazo. Bulonar la contrabóveda.	150-200 mm en clave. 150 mm en hastiales. 50 mm en el frente.	Medias a pesadas, espaciadas a 0.75 m, con forro y longarinas donde sea necesario. Contrabóveda

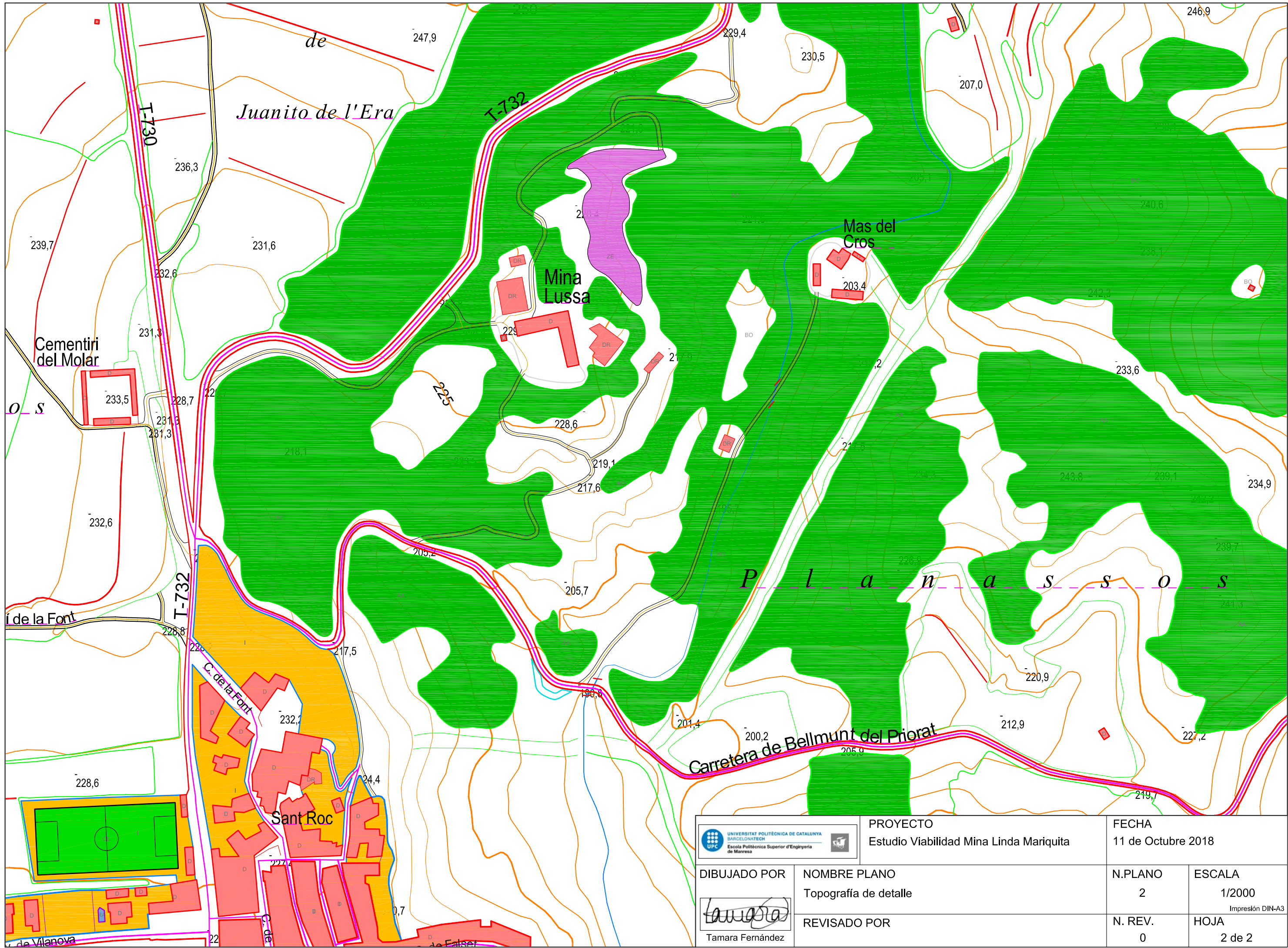
Notas (de BIENIAWSKI): Sección del túnel en herradura. Ancho 10 m. Tensión vertical < 25 MPa. Excavado por voladuras.


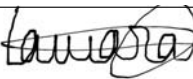
ANEJO 12. Tabla para los valores de curva

Ús del sòl	Pendent (%)	Característiques hidrològiques	A	Grup del sòl		
				B	C	D
Guaret	≥3	R	77	86	89	93
		N	75	82	86	89
	<3	R/N	71	78	82	86
Conreus en filera	≥3	R	68	79	86	89
		N	67	76	82	86
	<3	R/N	64	72	78	82
Cereals d'hivern	≥3	R	63	75	83	86
		N	61	72	81	83
	<3	R/N	60	70	78	81
Rotació de conreus pobres	≥3	R	66	77	85	89
		N	64	75	82	86
	<3	R/N	63	72	79	83
Rotació de conreus densos	≥3	R	57	71	81	85
		N	54	68	78	82
	<3	R/N	52	67	76	79
Praderies	≥3	Pobra	68	78	86	89
		Mitjana	49	68	78	85
		Bona	42	60	74	79
		Molt bona	38	55	69	77
	<3	Pobra	46	67	81	88
		Mitjana	38	59	75	83
		Bona	29	48	69	78
		Molt bona	17	33	67	76
Plantacions regulars d'aprofitament forestal	≥3	Pobra	45	64	77	83
		Mitjana	38	60	72	78
		Bona	33	54	69	77
	<3	Pobra	40	60	72	78
		Mitjana	34	54	69	77
		Bona	25	38	67	74
Masses forestals (bosc, garriga, etc.)		Molt clara	56	75	86	91
		Clara	45	68	78	83
		Mitjana	40	60	69	76
		Espessa	36	52	62	68
		Molt espessa	29	43	54	60
Roques permeables	≥3	En qualsevol cas		94		
	<3	En qualsevol cas		91		
Roques impermeables	≥3	En qualsevol cas		96		
	<3	En qualsevol cas		93		

Taula A1.1. Valors del nombre de **corba** NC en condicions antecedents d'humitat de tipus II.

DOCUMENTO 3. PLANOS



 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa</div>		PROYECTO Estudio Viabilidad Mina Linda Mariquita		FECHA 11 de Octubre 2018	
DIBUJADO POR  Tamara Fernández		NOMBRE PLANO Topografía de detalle		N.PLANO 2	ESCALA 1/2000 Impresión DIN-A3
REVISADO POR				N. REV. 0	HOJA 2 de 2